

Universidad Técnica Nacional

Sede Central

**Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Procesos y Calidad**

**Propuesta para reducir el desperdicio de materia prima en el
proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica
durante el periodo 2021-2022**

Alumna:

Jazmín Villegas Vega

2023

Hoja de aprobación del Tribunal Evaluador

Este Trabajo Final de Graduación fue aprobado por el Tribunal Evaluador el día 11 de abril del 2023 a las 16 horas, como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Procesos y Calidad.



Luis Ricardo Sánchez Zúñiga
Director de Carrera



José Mauricio Alcázar Román
Profesor Tutor del TFG



Andrés Jiménez Segura
Lector



Giovanni Badilla Prendas
Lector

Palmares de Alajuela, 22 de abril de 2023

Universidad Técnica Nacional

Escuela de Ingeniería

Estimados señores:

La suscrita Melissa Ramírez Cambronero, cédula de identidad número 2-0712-0441, bachiller en Filología Clásica, incorporada al Colegio de Licenciados y Profesores (COLYPRO) con carné número 091393, da fe de que el trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en procesos y calidad, titulado *PROPUESTA PARA REDUCIR EL DESPERDICIO DE MATERIA PRIMA EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE LA EMPRESA RESINPLAST COSTA RICA DURANTE EL PERIODO 2021-2022*, escrito por la estudiante Jazmín Villegas Vega, cédula 2-0745-0878, ha sido sometida a una revisión filológica.

Al escrito se le han realizado las sugerencias y modificaciones pertinentes en distintos niveles textuales, entre estos: intención comunicativa, estructura, cohesión y coherencia de las ideas, puntuación y ortografía, manteniendo el estilo propio de su autora. Las correcciones se realizaron en Modo Control de Cambios y es responsabilidad de la persona estudiante aceptarlas.

MELISSA RAMIREZ
CAMBRONERO
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
MELISSA RAMIREZ
CAMBRONERO (FIRMA)
Fecha: 2023.04.22 13:12:33
-06'00'

Bach. Melissa Ramírez Cambronero
Filóloga Clásica, Universidad de Costa Rica

melem.filologia@gmail.com

DEDICATORIA

Quiero dedicar este gran proyecto a:

Dios, quien me ha dado la fuerza, la inspiración y la capacidad para seguir adelante; aunque muchas veces me sentí sola, que no podía más y pensé en dejarlo todo, siempre Él llegó a mi vida con una palabra y un abrazo reconfortante, sin Él esto no hubiera sido posible.

A mi motor en este mundo, a mis padres que siempre me apoyaron financiera, sentimental y espiritualmente, ellos siempre ha sido mi razón para ser una mejor persona y poder honrarlos cada uno de mis días sobre esta tierra.

Con mucho esfuerzo, cariño y compromiso les dedico este primer éxito.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la oportunidad de haber ingresado a la universidad y permitirme cumplir esta gran meta, por abrirme puertas de bendición en el camino, por colocar personas generosas a mi lado, por darme la fuerza, la sabiduría y la capacidad para realizar y finalizar este proyecto, porque si no fuera por su gran misericordia y gracia no hubiera podido lograrlo.

También doy las gracias a mis padres, Liliana Vega y Juan Villegas, porque siempre han sido un gran ejemplo para seguir de trabajo, esfuerzo, valentía y amor a Dios. A mis hermanos Jefry Vega, Juandi Villegas y a mi esposo Keilor Ceciliano por confiar en mí, apoyarme, aconsejarme, alentarme a seguir adelante y por cada una de sus oraciones a mi favor.

Agradezco a mis amigos Christian Hernández y Diana Castro por motivarme siempre, a aquellos compañeros y profesores que en algún momento de mi carrera fueron un gran apoyo y me brindaron su mano.

A la Universidad Técnica Nacional por darme la ayuda necesaria, instruirme y proporcionarme las herramientas para convertirme en una profesional. A todos los profesores que se dedicaron a compartir sus conocimientos y experiencias con profesionalismo y amor.

A los chiquillos de la extrusora, como los llamo yo, y a todos los compañeros de Resinplast que me brindaron su ayuda.

Tabla de Contenido

CAPÍTULO I	6
1.1 INTRODUCCIÓN.....	7
1.2 ÁREA DE ESTUDIO	8
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.4 DELIMITACIÓN	14
1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES.....	14
1.6 ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	15
1.7 OBJETIVOS.....	18
CAPÍTULO II.....	20
2.1 MARCO ANTECEDENTES.....	21
2.2 MARCO CONCEPTUAL	23
CAPÍTULO III.....	54
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.2 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	55
3.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS O PREGUNTAS GENERADORAS	56
3.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES O CATEGORÍAS DE ANÁLISIS.....	57
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA	58
3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	58
3.7 PROCEDIMIENTOS	60
3.8 ANÁLISIS DE DATOS.....	61
3.9 CRONOGRAMA.....	61

CAPÍTULO IV.....	64
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	65
4.2 DISEÑO.....	84
CAPITULO V.....	120
5.1 DESCRIPCIÓN DE PROPUESTAS	121
5.2 DIAGRAMA FUTURO VSM	138
5.4 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	141
5.5 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN.....	147
CONCLUSIONES	149
RECOMENDACIONES.....	152
REFERENCIAS.....	153
BIBLIOGRAFÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXOS	159

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama de flujo del proceso de extrusión	9
Figura 2 Gráfico de costo del desperdicio de ordenes de producto terminado de enero a marzo del 2021.....	12
Figura 3 Gráfico capacidad del proceso de extrusión en kilogramos por hora.....	13
Figura 4 Componentes principales que conforman un extrusor.	30
Figura 5 Simbología VSM.....	35
Figura 6 Gráfico de Gantt	63
Figura 7 Gráfico de Pareto por familia de láminas.....	66
Figura 8 Gráfico Multicolumnar del Proceso de Abastecimiento.	78
Figura 9 Plano Área de extrusión.	81
Figura 10 Diagrama SIPOC.....	82
Figura 11 Diagrama de Operaciones Proceso Extrusión.	83
Figura 12 Histograma proceso actual.	84
Figura 13 Gráfico de cajas del proceso actual	85
Figura 14 Prueba de Jarque-Bera.....	86
Figura 15 Histograma de las esperas del proceso actual.	87
Figura 16 Utilización de los recursos del proceso actual.....	88
Figura 17 Histograma del proceso esperado.....	89
Figura 18 Gráfico de cajas del proceso esperado.	89
Figura 19 Histograma de las esperas del proceso esperado.....	90
Figura 20 Diagrama actual VSM.....	95
Figura 21 Diagrama de Ishikawa: MUDA Sobreproducción.	102

Figura 22 Diagrama de Ishikawa: MUDA Esperas.	103
Figura 23 Diagrama de Ishikawa: MUDA Transporte.	106
Figura 24 Diagrama de Ishikawa: MUDA Movimientos.	107
Figura 25 Diagrama de Ishikawa: MUDA Sobre procesos.	109
Figura 26 Diagrama de Ishikawa: MUDA Exceso de Inventarios.	111
Figura 27 Diagrama de Ishikawa: MUDA Defectos.	112
Figura 28 Pareto de causas potenciales.....	118
Figura 29 Resultado del puntaje actual y esperado de las 5S.	125
Figura 30 Diseño del control visual: pizarra Kanban.	126
Figura 31 Desperdicio en kilogramos por tipo de método.....	134
Figura 32 Kanban etiquetas de estado	137
Figura 33 Diagrama Futuro VSM.....	139
Figura 34 Ahorro en las ordenes de producción en tiempo y costo.....	143
Figura 35 Ahorro anual aproximado.....	145
Figura 36 Propuesta de cronograma de implementación en días.....	148

Índice de Tablas

Tabla 1 Análisis de desperdicio de una orden de producción de polietileno	10
Tabla 2 Análisis de variables del proceso de extrusión.	57
Tabla 3 Descripción, fechas y tiempo invertido en cada una de las actividades del proyecto planteado.	62
Tabla 4 Tipos de polietileno.....	65
Tabla 5 Resultado de participación de capas sellantes en productos terminados.	66
Tabla 6 Lista de defectos en una lámina de polietileno.	67
Tabla 7 Tipos de resinas y características.....	70
Tabla 8 Tipos de aditivos.	70
Tabla 9 Cores según el tipo de polietileno.....	71
Tabla 10 Equipos y herramientas usados en extrusión.	72
Tabla 11 Documentos utilizados en el área de extrusión.....	75
Tabla 12 Horarios y tiempos de los recursos utilizados.....	75
Tabla 13 Capacidad de absorción de las mangueras.....	80
Tabla 14 Resultados de análisis de desperdicios por operación.	91
Tabla 15 Identificación de desperdicios proceso de Extrusión.....	91
Tabla 16 Análisis del diagrama actual VSM.	96
Tabla 17 Datos del VSM.....	101
Tabla 18 Distancia recorrida en el subproceso Formación de globo.	107
Tabla 19 Causas potenciales del desperdicio.....	115
Tabla 20 Evaluación Seiri.....	122
Tabla 21 Evaluación Seiton.	122

Tabla 22 Evaluación Seiso.....	122
Tabla 23 Evaluación Seiketsu.....	123
Tabla 24 Evaluación Shitsuke.....	124
Tabla 25 Plan de implementación para el registro en el sistema de las condiciones de producción y calidad.....	129
Tabla 26 Cursograma Analítico.....	131
Tabla 27 Escenario para cambios de estañones.....	133
Tabla 28 Combinación de materiales por fórmula de polietileno.....	136
Tabla 29 Resultados del análisis del Diagrama futuro VSM.....	140
Tabla 30 Costos asociados a las propuestas.....	141
Tabla 31 Inversión inicial por propuesta.....	141
Tabla 32 Ahorro mensual aproximado.....	145
Tabla 33 Flujo de caja.....	147

Resumen

Título: Propuesta para reducir el desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica durante el periodo 2021-2022.

Autor: Jazmín Villegas Vega.

El presente trabajo fue realizado en la empresa Resinplast S.A con el objetivo de plantear una propuesta de mejora para reducir el desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión.

Inicialmente se realizó una simulación del proceso para conocer con claridad donde debía fijarse el esfuerzo del proyecto. Posteriormente por medio de un análisis de mudas se diagnostica cuáles son los desperdicios, de qué manera y que tan presentes están en el proceso, el siguiente paso fue graficar la información obtenida por medio de un mapeo de cadena de valor enfocado en los desperdicios identificados, deficiencias y áreas de mejora. Con la ayuda de análisis causas raíz se analizaron cada uno de los desperdicios encontrados, asimismo por medio de un diagrama de Pareto se clasificaron las causas potenciales según la oportunidad de mejora y su impacto en el proceso.

Se desarrollaron diez propuestas de mejora para disminuir los desperdicios del proceso, enfocadas principalmente hacia la cultura organizacional, calidad y producción.

Se calcularon los costos de inversión para cada una de las propuestas planteadas, el impacto económico en el ahorro y se estimaron indicadores financieros para interpretar la viabilidad del proyecto y su conservación en el tiempo.

Palabras claves: extrusión, polietileno de baja densidad, película, desperdicio y materia prima.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Resinplast S.A es una empresa que se encarga de la fabricación de empaques flexibles y etiquetas. Actualmente tiene como misión proteger los productos de sus clientes, por ello, ha destinado parte de sus recursos para la mejora de sus procesos con el fin de cumplir con las necesidades de sus clientes y ser competente en el mercado.

El área de producción está compuesta por diferentes procesos y el proceso de extrusión es uno de ellos. En este, se producen láminas de polietileno de baja densidad con diferentes propiedades, estas láminas son elaboradas con dos objetivos, como producto terminado y como materia prima interna para la elaboración de las estructuras que conformarán el empaque. Hoy en día, aproximadamente, un 80 % de las estructuras están diseñadas para que contenga polietileno laminado en una de sus capas.

Debido al actual control de procesos se determinó un desperdicio aproximado de 7 %, por ende, para solventar esta problemática se plantea el siguiente objetivo general: proponer mejoras en el proceso de extrusión, con la finalidad de disminuir el desperdicio de materia prima.

El presente trabajo está compuesto por el área de estudio, que incluye la delimitación de problema, justificación y alcance y limitaciones del proyecto abordado. Seguidamente, se aborda el estado de la cuestión, donde se indaga acerca de las técnicas y resultados utilizados en investigaciones similares. Luego se presentan el objetivo general y los objetivos específicos, la aproximación del marco teórico, los antecedentes de la organización, la estrategia metodológica que se emplea y el cronograma del desarrollo del proyecto.

1.2 Área de estudio

Resinplast S.A es una empresa dedicada a la industria de flexografía, es “especializada en el desarrollo, fabricación y comercialización de etiquetas, empaques y envolturas flexibles” (Resinplast, s.f.).

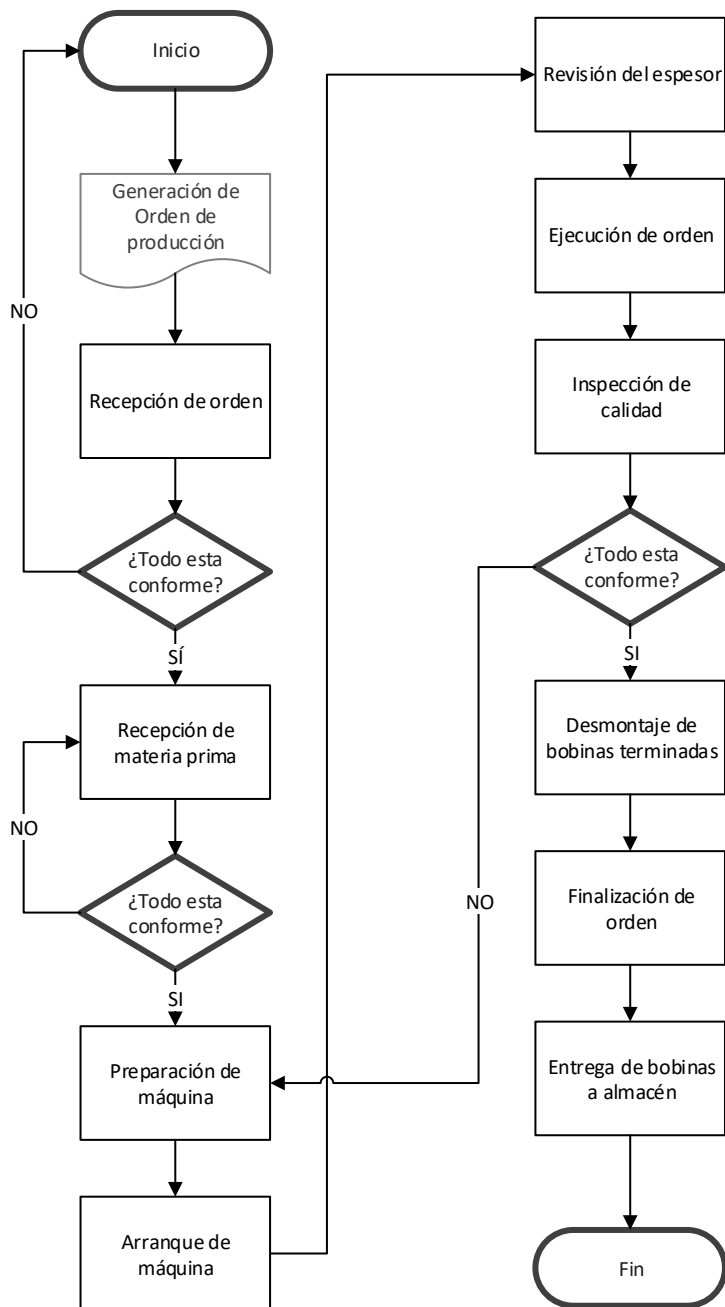
Resinplast S.A está conformada por diferentes departamentos que permiten el cumplimiento de objetivos de la organización. La presente investigación será realizada en el área de producción.

La producción está compuesta por diferentes procesos: Extrusión, Pre-prensa, Impresión, Laminación, Revisión, Corte, Etiquetadora, Bolseo y Empaque. Esta vez, el objeto de estudio será desarrollado específicamente en el proceso de extrusión, donde se elabora la materia prima interna para la producción de los productos terminados.

En la Figura 1 se muestra de forma general cada una de las etapas que comprende el flujo del proceso de extrusión de las películas de polietileno. Entre las etapas se menciona la recepción de la orden de producción y la materia prima correspondiente, la preparación del equipo de extrusión siguiendo los parámetros indicados en la orden, la aprobación por parte del departamento de calidad, el desmontaje y la entrega de las bobinas de polietileno al área de almacén para que sea utilizado como producto terminado o materia prima interna.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de extrusión.



1.2.3 Descripción del problema

El área de producción de la empresa Resinplast S.A, está compuesta por diferentes procesos (ver Anexo A), entre los cuales se encuentra el proceso de extrusión. Este se conforma, principalmente, por una máquina extrusora que produce películas de plástico. Hoy en día esta máquina se utiliza para generar láminas o películas de polietileno de baja densidad con o sin pigmentación (blancas o transparentes). Gracias a la tecnología de sus tres cañones es posible combinar diferentes resinas y aditivos para obtener productos con características especiales, por ende, el control del consumo y uso de estos recursos es de mucha importancia, ya que una inadecuada manipulación de ellas involucra pérdidas económicas para la organización, incumplimiento del plan de la planificación, impacto a la sociedad y al medio ambiente.

Tabla 1

Análisis de desperdicio de una orden de producción de polietileno.

Tipos de materias primas	Kg asignados	Costo promedio	Kg consumidos	Costo total	Desperdicio	Costo del desperdicio
Resina 1	175	88 052,18				
Resina 2	175	118 090,59				
Resina 3	175	125 851,42				
Resina 4	1200	776 776,44				
Aditivo	50	121 067,76				
Pigmento	100	169 572,72				
Total	1875	€ 1 399 411,11	1732	€ 1 880 578,92	8 %	€ 150 446,31

En la Tabla 1 se muestran los tipos de materias primas que conforman la orden de producción; ya que estas pueden variar según el tipo de polietileno que se desee producir. La cantidad en kilogramos de materia prima que se asigna por cada una de ellas es diferente, igual que sus costos asociados.

De acuerdo con los datos anteriores, de los 1875 kilos indicados que debían producirse solamente fueron posibles 1732, dejando como desperdicio 143 kilos que son representados como un 8 %; ese porcentaje representa una pérdida económica para la empresa de 150 446 colones.

Actualmente, la empresa reporta en su sistema la cantidad de desperdicio generado por cada una de las órdenes, mas no se garantiza la existencia de un continuo seguimiento dando como resultado porcentajes de desperdicio mayores al 5 %.

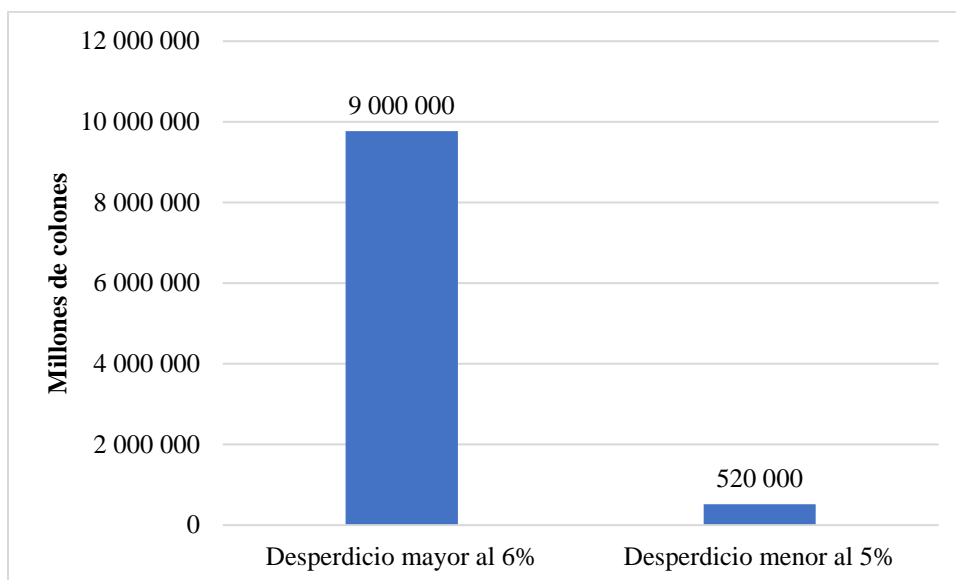
Con base en la información anterior se plantea la pregunta, ¿cuáles son las causas que generan el desperdicio de material en el proceso de extrusión?

1.3 Justificación del problema

En promedio, el proceso de extrusión produce por mes 58 órdenes de producción de diferentes tipos de polietilenos, es decir, están conformadas por órdenes de trabajo de producto terminado y órdenes de pruebas de polietilenos solicitadas por el departamento de desarrollo, lo que genera variabilidad en sus costos de producción.

Figura 2

Gráfico de costo del desperdicio de ordenes de producto terminado de enero a marzo del 2021.



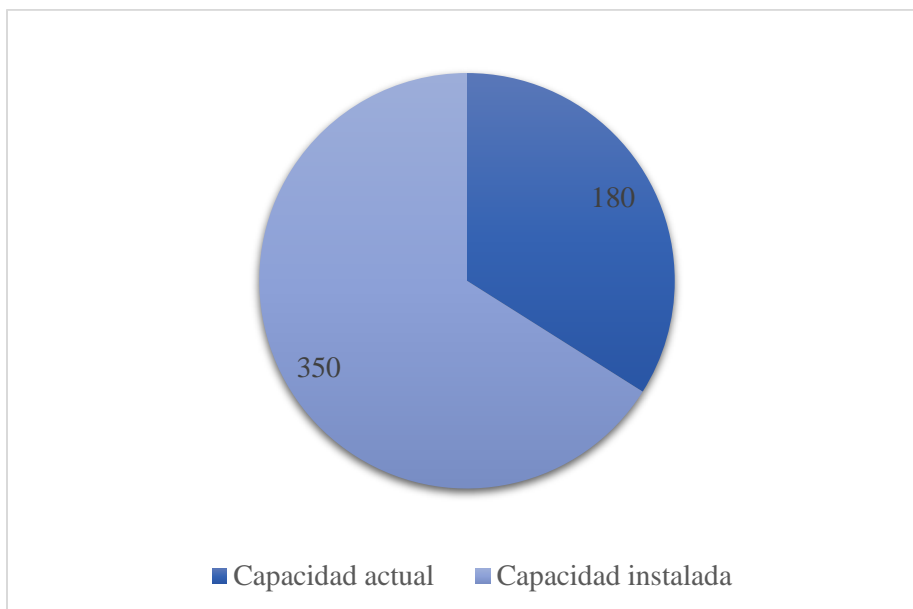
Según el Figura 2, de un total de 124 órdenes de producto terminado realizadas durante un periodo de tres meses, un 88 % de las órdenes tuvieron un desperdicio mayor al 6 %.

El costo asociado para 8191 kilogramos es de 9 millones de colones aproximadamente, además, las órdenes que tuvieron un desperdicio menor o igual al 5 % están asociadas con 465 kilogramos y un costo de 520 000 colones. Los datos expuestos confirman el impacto económico tan evidente que está teniendo el incremento del desperdicio.

Por otro lado, la máquina extrusora tiene capacidad de ser programada para producir diferentes anchos de material, espesores de película, metros lineales según la demanda y especialidades de polietilenos.

Figura 3

Gráfico capacidad del proceso de extrusión en kilogramos por hora.



De acuerdo con el Figura 3, hoy en día la máquina extrusora trabaja únicamente al 51 % de su capacidad instalada, por lo que gerencia ha expuesto la necesidad de reducir el nivel de desperdicio para lograr incrementar su capacidad lo más cercano a 350 kg/h. Lo anterior representaría aproximadamente 149 toneladas más al mes, para resultar en un total de 235.

Al ser este estudio propio de la empresa Resinplast S.A se cuenta con acceso a la base de datos y documentación de la organización, además del apoyo y experiencia directa de los colaboradores y expertos relacionados con el proceso de extrusión a estudiar.

El presente proyecto podría beneficiar principalmente al departamento de Gerencia General y Producción de la empresa en estudio. Sin embargo, la sociedad en general también se vería beneficiada por la posible reducción de consumo de materias primas y su impacto positivo sobre el medio ambiente.

1.4 Delimitación

1.4.1 Delimitación Temática

El estudio será realizado en el proceso de extrusión, donde se pretende desarrollar una propuesta para la disminución del desperdicio y su costo generado, con el fin de mejorar la calidad, satisfacción del cliente, disminuir el impacto ambiental e incrementar la rentabilidad.

1.4.2 Delimitación Temporal

La investigación será desarrollada durante el periodo de septiembre de 2021 hasta diciembre de 2022 y tiene como objetivo desarrollar una propuesta para reducir el desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica.

1.4.3 Delimitación Espacial

El proyecto se orientará en el análisis para la disminución de desperdicio de materia prima en el área de producción, específicamente en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica, ubicada en el parque Industrial Indupark en la Coyol de Alajuela.

1.5 Alcance y limitaciones

Alcance

Se desea proponer mejoras en el proceso de Extrusión en la empresa Resinplast S.A para contribuir con la disminución del desperdicio de materia prima.

La investigación, específicamente, se centra en el proceso de extrusión donde se elabora los diferentes tipos y acabados de polietilenos.

Geográficamente el estudio tendrá un alcance para la sede ubicada en el Coyol, Costa Rica.

Limitaciones

Cada uno de los tipos de polietileno están elaborados con una fórmula específica que es propiedad de Resinplast S.A por lo que es información restringida.

Los costos específicos relacionados con los procesos y materias primas es información sensible por lo cual los datos desarrollados en la investigación serán representativos.

Debido a los costos de producción, disponibilidad de materia prima y demanda de la máquina por parte de producción se restringe la elaboración de pruebas con este fin.

1.6 Estado de la cuestión

Debido a la rentabilidad, competitividad y requerimientos del mercado, las organizaciones apoyadas por la dirección han encontrado un pleno convencimiento de llevar a cabo proyectos para mejorar los procesos productivos a través de la reducción de todo tipo de desperdicios, con el fin de mejorar el flujo productivo y así entregar el máximo valor a sus clientes. Los últimos resultados han generado un incremento y énfasis sobre estos estudios, expandiéndose cada vez más en áreas como calidad, sistemas logísticos, distribución de planta, entre otros.

El trabajo *Propuesta de mejora para la reducción de desperdicios en una línea de ensamble de filtros sellados* de Benavente y Hernández (2014) indica que se llevó a cabo la ejecución de un proyecto de mejora continua de los procesos para reducir costos sin afectar negativamente los niveles de calidad ofrecidos y con el fin de mantenerse como líder del mercado. Este estudio es guiado mediante el objetivo general de proponer mejoras para la reducción de desperdicio de una de las líneas de producción de la empresa Affinia Venezuela C.A., además específica en sus objetivos la descripción y análisis de la situación actual para con ello elaborar las posibles soluciones y su impacto sobre la organización.

Este estudio fue elaborado bajo una investigación de tipo descriptiva utilizando técnicas como la observación, ya que funciona como forma directa de recolección de datos, y las entrevistas con los operarios para conocer más a fondo la funcionalidad de los procesos y las causas de los defectos.

En sus conclusiones se utilizan en forma general diferentes herramientas ingenieriles, como: 5 ¿Por qué?; ESIDE; diagrama de Pareto; 5S; entre otras, para realizar el diagnóstico y análisis de la situación de la empresa, además de la identificación de los tipos de desperdicios y sus causas raíz.

Adicionalmente, los autores realizaron propuestas como la adaptación de accesorios a los equipos, Poka-Yokes, planes de mantenimiento preventivo entre otros, asimismo, evaluaron para cada una de ellas el impacto tomando en consideración criterios de inversión económica, disponibilidad de recursos, costo de mantenimiento, ventajas y desventajas.

De acuerdo con el trabajo *Reducción del desperdicio del proceso de extrusión de cobre en una empresa del sector metalmecánico*, presentado por Ramírez (2015), una empresa manufactura de Cobres de Colombia indica la necesidad de generar un estudio para la disminución de pérdidas de materia prima. Se establece como objetivo general la reducción del desperdicio en el proceso de extrusión de cobre y como objetivos específicos, el diseño de un plan para emplear acciones de mejora y la estandarización de estas. Para tal proyecto se utiliza una investigación no experimental, transversal, descriptiva y explicativa con un enfoque cuantitativo.

Entre las herramientas a utilizar se menciona *Lean Manufacturing*, Control visual, *Kaizen*, *Value Stream Mapping*. Ramírez (2015) concluye que las herramientas utilizadas permitieron un diagnóstico de valor que generó la creación de un plan de acción para atacar los desperdicios

hallados, finalmente recomienda establecer un programa de capacitación de mejora de cultura y estandarización de procesos.

Escaida, Jara, Letzkus (2016) en su investigación *Mejora de procesos productivos mediante Lean Manufacturing*, realizada en la empresa fabricante de colchones CDC, elaboran un estudio de identificación de desperdicios debido a la necesidad de aumentar la producción y reducir costos para cubrir la demanda del mercado. De acuerdo con lo anterior, plantean como objetivo general, identificar y entregar una propuesta de mejora a las ineficiencias en la producción de colchones en la empresa CDC. Para cumplir el objetivo anterior se emplea la filosofía *Lean Manufacturing*, la cual es utilizada para identificación de los tipos de desperdicio, herramientas como el *Value Stream Mapping* para conocer el flujo de información y de materia prima, el Diagrama de Espaguetti para identificar las rutas utilizadas dentro de la planta, el Diagrama Causa Efecto para hallar las causas de una situación y, para conocer la voz de cliente, se utiliza el Mapa de empatía.

Como metodología Escaida, Jara, Letzkus (2016) implementan una investigación cualitativa, de campo y descriptiva.

Entre las conclusiones consideradas se determina problemas en la distribución de los talleres en la planta, lo que fomenta la ineficiencia. Con la ayuda de la metodología *Lean* se localizaron los desperdicios y causas: excesivo transporte, sobreproducción, tiempos de espera y sobre inventario. Como propuesta para mejorar el proceso indicaron la creación de un nuevo diseño de planta y estandarización del método de trabajo.

Pérez (2011), en su tesis *Mejoramiento de los procesos productivos de la empresa ACCECOL LTDA*, desarrolla un proyecto en una empresa colombiana dedicada a la fabricación y

distribución de accesorios para vidrio templado. Este proyecto nace por el crecimiento del mercado para esta empresa y de ahí deja ver la necesidad de estandarización de los procesos productivos, la falta de coordinación de las actividades y tareas, la distribución ineficiente de los recursos y equipos y la inexistencia de un método de programación masiva.

Por lo tanto, como objetivo general Pérez (2011) plantea analizar y mejorar los procesos de producción aplicando métodos y herramientas de manufactura flexible, y para lograr lo anterior entre sus objetivos específicos define realizar un análisis de capacidad instalada, validación de recursos utilizados, distribución de planta, programación de producción y planteamiento de indicadores para su respectivo control.

Entre las herramientas utilizadas para el desarrollo del proyecto se puede mencionar: diagramas de operación y recorrido, hojas de rutas, estudios de tiempo como colaboración en el análisis de capacidad. Entre las mejoras propuestas se mencionan jornadas KAIZEN, 5s, conformación de celdas de producción, *Value Stream Mapping* y la elaboración de reportes y registros para el control de la producción.

Como resultado del proyecto, el autor atacó las causas raíz (desperdicio de recursos, recorridos innecesarios, falta de orden en centros de trabajo, despilfarros, entre otros) de la improductividad, mejorando en un 50 %, aproximadamente. Se menciona que el uso de herramientas ingenieriles fue de gran ayuda al igual que el cambio en cultura organizacional para que fueran posibles las mejoras.

1.7 Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una propuesta de mejora de proceso mediante la aplicación de diferentes herramientas ingenieriles con el fin de disminuir el desperdicio de materia prima en el área de extrusión de la empresa Resinplast S.A durante el año 2021 y 2022.

Objetivos Específicos

- Determinar las posibles causas que originan el desperdicio de materia prima por medio de la aplicación de herramientas ingenieriles.
- Analizar cada una de las causas encontradas con el fin de conocer cuál es su origen.
- Establecer estrategias que mejoren el proceso por medio de la implementación de diferentes herramientas de la metodología de Lean Manufacturing.
- Diseñar una simulación del proceso analizado, mediante el software Python para validar el método de trabajo de la línea de extrusión.
- Realizar un análisis costo beneficio para una propuesta de mejora en el área de extrusión.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Antecedentes

Desde 1996 Resinplast es una empresa dedicada al desarrollo de empaques flexibles y etiquetas tanto para el mercado nacional como internacional. Atienden las exigencias de los clientes, otorgándoles asesoramiento e innovaciones tecnológicas para conseguir extender la vida útil de los productos envasados y disminuir el impacto medioambiental de los desechos al reducir el peso de las envolturas y hacerlas de materiales reciclables.

En sus modernos equipos de extrusión de películas soplada producen rollos de láminas de polietileno que serán usados en los procesos de impresión y laminación. El alto nivel tecnológico de las máquinas de extrusión y las materias primas de primera calidad aseguran un producto acorde con los requerimientos de los clientes. Cuentan con la capacidad para fabricar películas de polietileno de tres capas, cumpliendo las exigencias de los clientes. El área de Preprensa incorpora lo más avanzado en tecnología *High Definition* y utilizan materiales de excelente calidad. Han logrado impresiones en flexografía de alta definición, mediante máquinas impresoras de hasta 8 colores. Su proceso de laminación por adhesivos con y sin solvente permite alcanzar las barreras requeridas para el producto del cliente. En Resinplast cuidan también de los parámetros de corte, procurando un manejo correcto para facilitar su uso en las máquinas envasadoras del cliente. Fabrican diversos tipos de bolsas con zipper. Además, pueden incluir accesorios como válvulas dosificadoras y desgasificadoras (Resinplast, s.f.).

Su sistema de gestión de calidad e inocuidad, basado en las normas ISO 9001 Sistema de Gestión de Calidad y las normas AIB Internacional para la Inspección de Instalaciones de Manufactura de Materiales de Empaque en Contacto Directo con Alimentos, permite inspeccionar continuamente todos los procesos productivos que realizan. Como empresa que apunta al control

de calidad total, trabajan de acuerdo con los requerimientos que exige el mercado global (Resinplast, s.f.).

Resinplast cuenta con dos modernas plantas de producción, una de ellas ubicada en Lima, Perú, que inició operaciones 1986, desde donde se exporta a destinos como Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Paraguay, Venezuela, Chile y Estados Unidos. Y la otra en Alajuela de Costa Rica, operativa desde 2008, que abastece de excelentes productos a países como El Salvador, Guatemala, Nicaragua, Honduras, México, Panamá, República Dominicana, Trinidad y Tobago y Estados Unidos. (Resinplast, s.f.).

Gracias al esfuerzo, trabajo en equipo, dedicación de sus colaboradores y a la calidad de sus productos, ha podido ganarse la confianza de muchas marcas importantes y prestigiosas en el mercado nacional e internacional. Son una empresa comprometida con el legado que les dejaron a sus hijos. Es por eso por lo que han implementado una política *Green* apoyada en su pilar ecológico. Cuentan así con un programa de reducción de huella de carbono. Resinplast, además recicla el 100 % de sus desperdicios de proceso y se involucra en la difusión del uso adecuado de desechos mediante la implementación de programas educativos como *Crónicas de Resinet*, por los que mediante charlas y visitas a planta se les inculca y enseña a los niños las acciones que pueden realizarse como parte de una cultura de apoyo y defensa del medio ambiente (Resinplast, s.f.).

Misión: Resaltar la imagen de nuestros clientes, mediante la fabricación de empaques de alta calidad, la prestación de un óptimo servicio y la innovación de nuestros productos (Resinplast, s.f.).

Visión: Nuestros empaques estén presentes en el 50 % de los productos de nuestras alacenas. (Resinplast, s.f.).

Política de Calidad:

En Resinplast, S.A., somos una empresa dedicada a la elaboración de empaques flexibles, etiquetas y polietilenos, orientada bajo el marco de nuestra misión y Visión. Estamos comprometidos con la satisfacción de nuestros clientes y la seguridad de nuestros productos; ofreciendo un servicio óptimo, productos confiables y competitivos que resalten su imagen, alcanzando la protección integral del producto de nuestro cliente (Resinplast, s.f.).

Para lograrlo fomentamos la mejora continua de su sistema de gestión en calidad, ambiente, inocuidad, salud ocupacional y nuestros procesos; la innovación constante y el cumplimiento de la normativa pertinente y otros requisitos aplicables a nuestra organización en conformidad con la calidad específica con nuestros clientes.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Desperdicio

Debido al enfoque, el desperdicio es uno de los términos más mencionados dentro de esta investigación, Rajadell y Sánchez (2010) aclaran que “...entendiendo como desperdicio o despilfarro todas aquellas acciones que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar” (p. 2).

Tipos de desperdicios. De acuerdo con la literatura, en los procesos productivos se pueden presentar diferentes tipos de desperdicios como: la sobreproducción, tiempo de espera, transportes, sobreproceso, exceso de inventario, movimientos y defectos.

Sobreproducción. La idea de que, si se produce mucho producto terminado, es ser más productivos es errónea. La sobreproducción se define como:

(...) el resultado de fabricar más cantidad de la requerida o de invertir o diseñar equipos con mayor capacidad de la necesaria. La sobreproducción es un desperdicio fatal porque no incita a la mejora, ya que parece que todo funciona correctamente. Además, producir en exceso significa perder tiempo en fabricar un producto que no se necesita, representa un consumo inútil de material, se incrementan los transportes internos y se llenan de stock los almacenes. (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 22)

Tiempo de espera. El tiempo es dinero y desperdiciarlo con esperas innecesarias implica pérdidas económicas, por ello Rajadell y Sánchez (2010) mencionan que “el tiempo perdido son el resultado de una secuencia de trabajo o proceso ineficientes” (p. 23). De la misma forma Rajadell y Sánchez señalan que

(...) los procesos establecidos pueden provocar que unos operarios permanezcan parados mientras otros están saturados de trabajo. Un cliente nunca estará dispuesto a pagar el tiempo perdido durante la fabricación de su producto, así que es preciso estudiar cómo utilizar estos tiempos o bien cómo eliminarlos. (2010, p. 23)

Transporte y movimientos. El exceso de movimientos conlleva de la mano a que el operario realice transportes innecesarios, por ende, Rajadell y Sánchez (2010) indican que el transporte

(...) es el resultado de un movimiento o manipulación de material innecesario, quizás por culpa de un layout mal diseñado. Las máquinas y las líneas de producción deberían estar lo más cerca posible y los materiales deberían fluir directamente desde una estación de trabajo a la siguiente sin esperar colas de inventario. En este sentido, es importante optimizar la disposición de las máquinas y los trayectos de los suministradores. Además, cuantas más veces se mueven los artículos de un lado para otro, mayores son las probabilidades de que resulten dañados. (p. 24)

Sobreprocesos. Dentro de los objetivos de toda organización está la mejora continua de sus procesos, sin embargo, existen ciertas actividades dentro de los procesos que no añaden valor, Rajadell y Sánchez (2010) hace referencia de que el sobreproceso

(...) es el resultado de poner más valor añadido en el producto que el esperado o el valorado por el cliente, en otras palabras, es la consecuencia de someter al producto a procesos inútiles, por ejemplo: verificaciones adicionales, aplicaciones innecesarias de pintura, algunos trabajos de limpieza, etc. (p. 25)

Exceso de inventario. Asimismo, un desperdicio como la sobre producción trae consigo otro sobrante llamado excesos de inventario que son

(...) el resultado de tener mayor cantidad de existencias de las necesarias para satisfacer las necesidades más inmediatas. El hecho de que se acumule material antes y después del

proceso indica que hay stock innecesario y que el flujo de producción no es continuo. (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 27)

Defecto. No existe proceso totalmente perfecto que diseñe piezas con cero no conformidades, por lo cual los defectos están considerados como,

el despilfarro derivado de los errores es uno de los más aceptados en la industria, aunque significa una gran pérdida de productividad, porque incluye el trabajo extra que debe realizarse como consecuencia de no haber ejecutado correctamente el proceso productivo la primera vez. (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 28)

2.3.2 Procesos

Las organizaciones están compuestas por diferentes áreas y en cada una de ellas existen diferentes actividades que conforman un proceso que, a su vez, genera un valor agregado directo o indirectamente, por lo cual los procesos están definidos como:

Conjunto sucesivo de actividades desarrolladas para elaborar un producto. Constituye una segmentación que permite individualizar y diferenciar distintas fases productivas, cada una de las cuales suele desarrollarse en diferente lugar, por diferentes responsables y con diferentes medios y procedimientos. Por ejemplo, el proceso de fabricación de un producto puede descomponerse en fases de corte de materiales, conformación, mecanización, soldaduras, recubrimiento y montaje. (Ramírez, 2011, p. 248)

2.3.3 Métodos

Cada uno de los procesos está comprendido por diferentes actividades que a su vez están conformadas por diferentes métodos. Los métodos son:

una forma concreta de desarrollar un procedimiento general orientado a la reducción de los tiempos y, de forma complementaria, a reducir los rechazos. Conservan el principio y alteran las disposiciones relativas. No alteran las inversiones, sino que recurren a cambiar utillajes o la colocación de los elementos. (Ramírez, 2011, p. 249)

2.3.4 Procedimientos

Es importante que los métodos utilizados en los procesos se encuentren estandarizados para evitar que las personas trabajen de diferente modo. Un procedimiento es:

Toda actividad definida esencialmente por los medios que habrían de emplearse, tanto materiales como humanos, y por el tipo de operaciones que se deben realizar o elementos que se desea producir, por ejemplo, el corte puede hacerse por sierra, guillotina, láser, etc.; la soldadura puede ser autógena o eléctrica (puntos, soldaduras), etc. (Ramírez, 2011, p. 249)

González (2007) indica que algunos de los problemas generados por la falta de estandarización son:

- Se producen diferentes defectos por cada uno de los miembros.
- Se dificulta conocer la causa de las fallas de la operación.
- La mejora de la operación se hace problemática dado que cada uno realiza la operación a su forma de pensar.
- Se realizan actos inseguros por cada uno de los miembros.
- Se dificulta la capacitación y el entrenamiento del personal.
- Se generan retrasos entre operaciones que se reflejan en el incumplimiento de las entregas de la producción al siguiente proceso.

- Se incrementan los costos por daños en el producto por malas prácticas en la operación. (pp. 102-103)

2.3.5 Cultura organizacional

Uno de los pilares fundamentales en la producción es el personal; y para garantizar una armonía entre los procesos y la calidad del producto terminado, es necesario que exista una cultura organizacional con una visión global. Robbins et. al. (2013) indica que “la cultura organizacional está constituida por los valores compartidos, principios, tradiciones y formas de hacer las cosas que influyen el actuar de los miembros de una organización.”. Conjuntamente resalta su la importancia exponiendo que “en la mayoría de las organizaciones, estas prácticas y valores compartidos han evolucionado con el tiempo y determinan, en gran medida, cómo ‘son las cosas por aquí’” (p. 38).

Según Robbins et. al. la cultura organizacional se basa en tres aspectos.

Primero, la cultura es una percepción. No es algo que se pueda tocar o ver físicamente, pero los empleados la perciben o experimentan dentro de la organización. Segundo, la cultura organizacional es descriptiva. Tiene que ver con la forma en que sus miembros perciben o describen la cultura, no con el hecho de si ésta les agrada. Por último, aunque las personas puedan tener diferentes antecedentes o trabajar en distintos niveles dentro de la organización, tienden a describir la cultura de la organización en términos similares. (2013,)

2.3.6 Mano de obra

Una organización está incompleta sin la mano de obra ya que esta es “el conjunto de potencial humano debidamente equipado, con buena preparación y con una determinada capacidad de producción” (Ramírez, 2011, p. 113).

Sin lugar a duda es el motor de cualquier sistema, sin ella es imposible lograr que las metas de cualquier organización se cumplan, aun con la existencia de robots, estos necesitan de la fuerza humana para ejecutarlas y para darles su debido mantenimiento.

2.3.7 Proceso de Extrusión

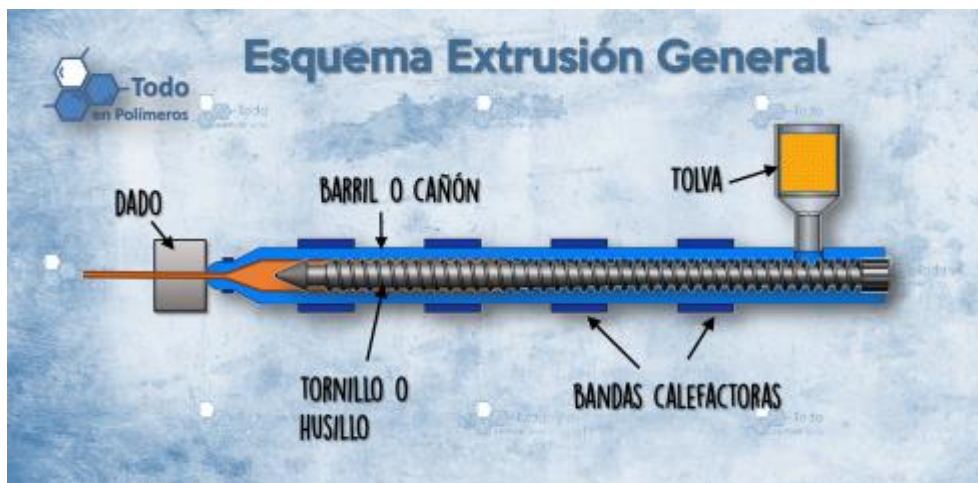
De acuerdo con PlasticsTechnology (s.f.) el proceso de extrusión de plásticos básicamente funciona de la siguiente manera:

El material termoplástico crudo, o resina, se alimenta por gravedad desde una tolva montada en la parte superior al barril de una extrusora. A menudo se utilizan aditivos, como colorantes e inhibidores de UV en forma líquida o en gránulos, que pueden introducirse en la resina que se encuentra debajo y llegar a la tolva. El tornillo giratorio fuerza la resina plástica hacia el interior del barril que se calienta a la temperatura de fusión deseada dependiendo de la resina.

De acuerdo con lo anterior en la Figura 4 se puede observar los componentes enunciados.

Figura 4

Componentes principales que conforman un extrusor.



Nota. Adaptado de Esquema Extrusión General, de Tecnología de los plásticos, 2011, (<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/xtrusión-de-materiales-plasticos.html>)

El proceso de extrusión permite la creación de diferentes formas geométricas, la forma de producto más común es la película delgada, ya sea plana o tubular. Otros productos extruidos incluyen tuberías y tubos, papel recubierto o láminas, monofilamentos y fibras textiles, láminas planas (cualquier cosa de más de 0,010 pulgadas (0,25 mm)), cubiertas de cables y alambres, y una gran variedad de perfiles como marcos de ventanas, juntas, canales y revestimiento de la casa. Los productos se pueden cortar a medida o enrollar según sea necesario.

2.3.8 Materia prima

Para que un bien sea elaborado requiere de diferentes insumos, por lo cual las materias primas están definidas como “los materiales comprados que no han ingresado al proceso de producción y se mantienen registradas como activo circulante en la cuenta de inventario de material” (Jiménez y Espinosa, 2007, p. 48).

Resina. Para PlasticsTechnology (s.f.), una resina está definida como:

cualquiera de varios sintéticos polimerizados físicamente similares o resinas naturales químicamente alteradas, como materiales termoplásticos (polivinilo, poliestireno, polietileno) o materiales termoendurecibles (poliésteres, epoxis, siliconas utilizadas con cargas, estabilizadores, pigmentos).

Polietileno. Dentro de las materias primas principalmente utilizada, mas no limitada en el proceso de extrusión, se encuentra el polietileno que es:

Un plástico perteneciente a la familia de los termoplásticos. Actualmente se cuenta con cuatro subgrupos de materiales industriales de mayor uso: polietileno, polipropileno, poliestireno y el polivinilcloro. El polietileno es un polímero de cadena repetitiva de etileno (CH_2)_n. Es una molécula compuesta únicamente de átomos de carbono e hidrógeno que se caracteriza por tener propiedades químicas y mecánicas sobresalientes, destacándose su lubricidad, resistencia al impacto y abrasión, y por ser químicamente inerte (Cardona, 2010, p.. 123).

Aditivo. Para mejorar ciertas propiedades físicas, mecánicas y de proceso a la lámina o reducir consecuencias indeseables en el producto final, es necesario agregar aditivos, estos son materiales que se incluyen en la formulación de los polímeros (Madrigal, 2011, p..86).

Según Madrigal (2011), los aditivos pueden ser clasificados en dos tipos: Protectores compuestos por antioxidantes, estabilizadores térmicos, antiozonante, estabilizadores UV y agentes antiestáticos; y Modificadores conformados por rellenos de refuerzo, plastificantes dilatadores, químicos, adición de otro polímero y agente de expansión (p. 87).

Pigmento. De acuerdo con Tecnologías de los plásticos (2011) los pigmentos son “partículas finamente molidas (como el óxido de titanio) que quedan uniformemente dispersas en el polímero. Pueden ser orgánicos e inorgánicos” añadidos en pequeñas proporciones dentro de las formulaciones.

2.3.9 Inventario

Los inventarios abarcan todo el material con que cuenta la empresa para comenzar a producir “son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización (...) casi siempre se clasifican en materia prima, productos terminados, partes de componentes, suministros y trabajo en proceso” (McGraw Hill, 2009, p. 547).

Asimismo, Baca et. al. (2007) determina que

(...) inventario es la acumulación de algún tipo de artículo, material o producto que representa valor y utilidad para una empresa. Este material puede servir como insumo (materia prima) para la generación de otros productos; también puede tratarse de producto intermedio (el cual se encuentra en proceso de transformación y será trasladado a una etapa siguiente del proceso productivo), o ser un bien terminado (se ha finalizado el proceso productivo y se encuentra esperando su transportación hacia el cliente). (p.166)

2.3.10 Producción

Toda empresa que transforma materia prima para satisfacer una necesidad posee un área de producción, por cual producción es

(...) el subsistema encargado de agregar valor a la materia prima por medio de su transformación, aplicando procesos y operaciones unitarias. Para dicha transformación, se

utiliza una tecnología que puede ser automatizada o poco automatizada, lo cual implica el uso de la mano de obra en mayor o en menor proporción. (Baca et al., 2007, p. 301)

2.3.11 Planificación de la producción

Para garantizar la satisfacción de la demanda de los consumidores y clientes es necesario planificar estratégicamente lo que es necesario producir:

La etapa de planeación de producción inicia con el proceso de estimaciones de la demanda, conocido como pronóstico de la demanda. En este se definen las cantidades demandadas a mediano y corto plazo de familias de producto o artículos individuales, las cuales serán las principales entradas a las siguientes etapas en proceso. (Castro,2008, p. 35)

2.3.12 Programación de la producción

Una vez definidos los objetivos y metas a alcanzar y planificado lo que se desea producir, las órdenes de producción son liberadas al piso de la planta, determinando para cada una de ellas la secuencia de operaciones a seguir, los recursos específicos (máquinas o personas) a utilizar, y las fechas de inicio y terminación de las diferentes actividades (Castro,2008, p. 36).

2.3.13 Calidad

Este término está estrechamente ligado a la responsabilidad que tiene la organización de entregar con sus clientes internos y externos productos conformes, por ende:

Se puede argumentar que un producto es de calidad cuando en primera instancia satisface al cliente. La satisfacción tiene que ver con necesidades y expectativas que toda persona tiene y, que, en la mayoría de los casos, son distintas unas de otras. Entonces, la calidad de un producto emerge y nace en el momento en que se confrontan las necesidades y

expectativas del cliente (tangible o intangible) contra las características del producto (tangibles e intangibles) ofrecido por la empresa. (Baca et al., 2007, p. 109)

2.3.14 Control de calidad

Una vez respaldada la importancia que tiene la calidad sobre los insumos de la empresa, es necesario definir parámetros, controlarlos y medirlos. “Ishikawa destaca que el control de calidad significa desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor” (Baca et al., 2007, p. 301).

2.3.15 Herramientas Lean Manufacturing

Value Stream Mapping (VSM). De acuerdo con Rajadell y Sánchez (2010) el mapa de cadena de valor (VSM) es una visión del negocio donde se muestra tanto el flujo de materiales como el flujo de información desde el proveedor hasta el cliente.

El VSM permite una fácil identificación de las operaciones que agregan o no valor al proceso, contempla las comunicaciones e informaciones, materias primas y tiempos por operación.

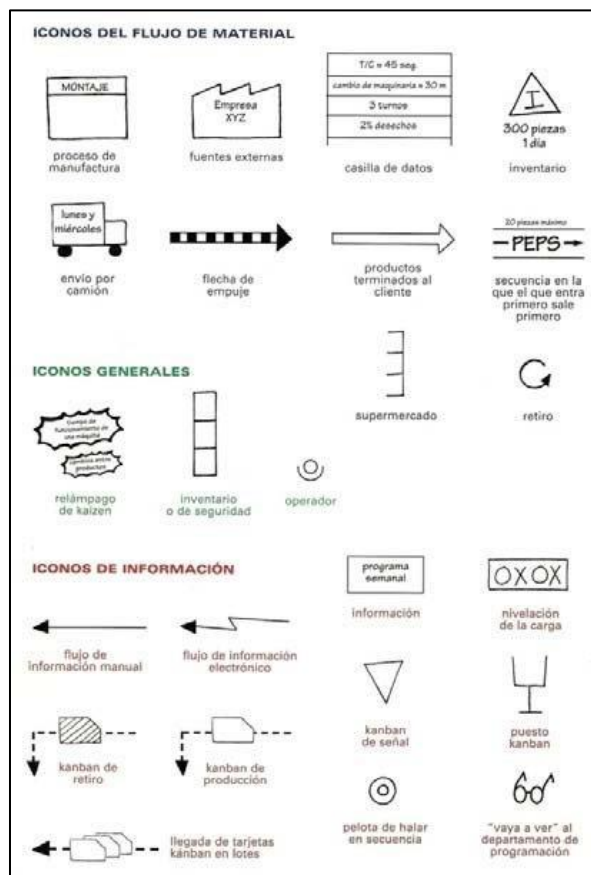
Los pasos para elaborar uno de estos son:

1. Recolectar información del flujo del material a partir del cliente.
2. Análisis del flujo de proceso.
3. Presentar flujo de información.
4. Calcular y representar el *lead time*.
5. Elaborar mapa.

La simbología que utiliza es la siguiente:

Figura 5

Simbología VSM.



Nota. Adaptado de Iconos de Flujo de Material, de ResearchGate, 2018, (https://www.researchgate.net/figure/Iconos-de-material-del-VSM-4_fig2_327566416)

Metodología 5S. Esta es una metodología Lean de origen japonés que ha sido aplicada ampliamente en varias empresas industriales y de servicio. Entre los beneficios de su implementación son:

- Facilidad para el control visual.
- Aumento de la seguridad en el área de trabajo.
- Mejora de la productividad de la planta: reduce los costes, incrementa la calidad y se dispone de mayor capacidad.

- Incremento de la vida útil de los equipos, lo que facilita la reducción del número de averías y el mantenimiento.
- Un conocimiento más profundo de las instalaciones mediante un control visual, ya que cualquiera puede reconocer diversos tipos de despilfarros y anomalías tanto en los almacenes como en las operaciones de producción.
- Una mejora del ambiente de trabajo a partir de un mayor compromiso de todos.
- Un puente hacia otras mejoras. (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 66)

Su implementación está basada en cinco pasos que en japonés se componen con palabras cuya fonética empieza por “s”.

- Seiri: eliminar lo innecesario.
 - Seiton: ordenar (cada cosa en su sitio y un sitio para cada cosa).
 - Seiso: limpiar e inspeccionar.
 - Seiketsu: estandarizar (fijar la norma de trabajo para respetarla).
 - Shitsuke; disciplina (construir autodisciplina y forjar el hábito de comprometerse).
- (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 50)

Metodología SMED. Debido a la exigente y variada demanda de los consumidores, las empresas han tenido que aprender adaptar rápidamente sus procesos a estos cambios. SMED, por sus siglas en inglés, significa *single minute exchange of die*. La frase indica que el tiempo de preparación tiene solo una cifra, es decir menor a diez minutos para hacer el cambio o paso de producir el componente “A” al componente “B” (Rajadell y Sánchez, 2010).

La creación de esta metodología es atribuida a Shigeo Shingo, su desarrollo inició cuando trabajaba para la fábrica Toyo Kogyo de Mazda alrededor del año 1950, sin embargo, se desarrolló e implementó en Toyota para el año 1970 (Rajadell y Sánchez, 2010).

Se consideran 5 pasos fundamentales para el desarrollo del SMED:

Paso 1. Identificar las operaciones en que se divide el cambio de modelo: El primer paso consiste en detallar todas las tareas de un cambio y cronometrar todas y cada una de las secuencias, apuntando el tiempo, los metros recorridos, etc. Es importante no dejarse ninguna tarea relacionada con el cambio.

Paso 2. Diferenciar las operaciones internas de las externas: Hay que identificar las tareas o actividades de preparación que se realizan en un cambio, diferenciando entre operaciones internas, operaciones que deben realizarse mientras la máquina está parada y operaciones externas con la máquina en marcha. Por ejemplo, la preparación y transporte de troqueles, matrices, útiles, herramientas y materiales hacia y desde la máquina, puede hacerse mientras la máquina está funcionando, por lo tanto, son operaciones externas. Las operaciones internas deben limitarse a retirar el útil o herramienta anterior y fijar el nuevo, ya que es el mínimo tiempo con máquina parada.

Paso 3. Transformar las operaciones internas en externas: La conversión de las operaciones de preparación internas en externas es quizás el principio fundamental del SMED. Este proceso implica un examen minucioso de todas las actividades para ver si hay algunos pasos que se han asumido erróneamente como internos, mientras hay posibilidades de convertir estos pasos en externos.

Paso 4. Reducir las operaciones internas: La reducción de las operaciones internas se consigue mediante las siguientes acciones:

- Utilizar cambios rápidos para los componentes y soportes.
- Eliminar herramientas utilizadas (destornilladores, llaves Allen, etc.).
- Utilizar códigos de colores (para facilitar la gestión visual).
- Establecer posiciones prefijadas de utillajes a la hora de cambiar (guías, topes, paros, etc.).

Paso 5. Reducir las operaciones externas: Las operaciones externas se reducen de la misma manera que se hace con las operaciones internas, integrando los movimientos de los operarios, teniendo los estándares de línea actualizados y validados y estando todos los operarios formados adecuadamente. (Rajadell y Sánchez, 2010, pp. 129-132)

Kanban. Se denomina Kanban,

A un sistema de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas, en japonés Kanban (aunque pueden ser otro tipo de señales), que consiste en que cada proceso retira conjuntos que necesita de los procesos anteriores, y estos comienzan a producir solamente las piezas, subconjuntos y conjuntos que se han retirado, sincronizándose todo el flujo de materiales de los proveedores con el de los talleres de la fábrica, y éstos con la línea de montaje final. (Rajadell y Sánchez, 2010, p. 121)

La metodología Kanban se basa en seis reglas a seguir para la eficacia del método:

Regla 1: No se debe mandar producto defectuoso a los procesos subsecuentes.

Regla 2: Los procesos subsecuentes requerirán solo lo necesario.

Regla 3: Producir solamente la cantidad exacta requerida por el proceso subsecuente.

Regla 4: Balancear la producción.

Regla 5: Kanban es un medio para evitar especulaciones.

Regla 6: Estabilizar y racionalizar el proceso. (Arango, Campuzano y Zapata, 2015)

2.3.16 Diagramas

Diagrama de proceso. Los procesos productivos están compuestos por muchas tareas que, con el paso del tiempo, la falta de verificación y mejora continua se comienzan a deteriorar.

Los diagramas son herramientas de análisis es una representación gráfica de los pasos que se siguen en una secuencia de actividades que constituyen un proceso o un procedimiento, identificándose mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza: además incluye toda la información que se considera necesaria para el análisis, tal como distancias recorridas, cantidad considerada y tiempo requerido (García, 2005, p. 42)

Existen diferentes tipos de diagramas de procesos diseñados con objetivos más particulares que otros, sin embargo, tienen en común “la representación gráfica de la sucesión de hechos o fases que se presentan en la ejecución de un proceso”. Entre los beneficios que generan “es una manera de dar forma visible a un procedimiento, teniendo la finalidad de mejorarlo” (Durán, 2007, p. 51).

Diagramas de flujo. Uno de los diagramas más conocido es el diagrama de flujo, según Niebel y Freivalds (2009),

El diagrama de flujo del proceso es particularmente útil para registrar los costos ocultos no productivos como, por ejemplo, las distancias recorridas, los retrasos y los almacenamientos temporales. Una vez que estos periodos no productivos se identifican,

los analistas pueden tomar medidas para minimizarlos y, por ende, reducir sus costos. (p. 26)

Este tipo de diagrama ofrece una rápida comprensión de cada actividad y su relación con las demás, además de “registrar operaciones e inspecciones, los diagramas de flujo de procesos muestran todos los retrasos de movimientos y almacenamiento a los que se expone un artículo a medida que recorre la planta”. (p. 26)

De la misma manera, Baca et. al. (2007) determina que:

Es una representación muy general y resumida de la secuencia de las operaciones e inspecciones principales, los materiales y los componentes de un proceso. En el extremo derecho del diagrama se anota la pieza o el elemento principal motivo del análisis y a la izquierda se registran todos los elementos, ensambles, subensambles, componentes y/o insumos necesarios para realizar dicho producto. Cada proceso e inspección debe detallarse de modo que el ingeniero industrial tenga, de forma rápida, una idea clara del proceso. (p..301).

Cursograma analítico. Según Sanchis (s.f), este tipo de diagrama tiene un nivel de detalle que permite registrar información relevante permitiendo luego utilizarla para la mejora del proceso. Permite representar todas las acciones (operación, transporte, inspección, espera y almacenaje) incluyendo los tiempos requeridos para cada acción y las distancias recorridas.

Se considera que existen tres tipos:

1. Del operario, sigue la trayectoria de una persona, es decir registra todos los flujos de movimiento de una persona.
2. De material, movimiento y secuencia de la manipulación de los materiales.

3. De equipo, movimiento del uso del equipo mientras se está utilizando para desarrollar alguna actividad. (p. 3)

Diagrama de Gantt. Para garantizar el cumplimiento y éxito de un proyecto es importante la proyección y definición del tiempo que se otorgaran a las tareas, por lo cual el diagrama de Gantt es una herramienta que,

Muestra anticipadamente y de manera simple las fechas de terminación de las diferentes actividades del proyecto en forma de barras gráficas con respecto al tiempo en el eje horizontal. Los tiempos reales de terminación se muestran mediante el sombreado de barras adecuadamente. Si se dibuja una línea vertical en una fecha determinada, usted podrá determinar qué componentes del proyecto están atrasadas o adelantadas (Niebel y Freivalds, 2009, p. 19).

Esta herramienta deja a disposición del usuario el uso de la creatividad en su diseño.

Diagrama Ishikawa. Otra de las herramientas más conocidas llamada también Espina de Pescado; en el libro Niebel y Freivalds (2009) se explica de la siguiente manera:

Definir la ocurrencia de un evento o problema no deseable, esto es, el efecto, como la “cabeza del pescado” y, después, identificar los factores que contribuyen a su conformación, esto es, las causas, como las “espinas del pescado” unidas a la columna vertebral y a la cabeza del pescado. Por lo general, las principales causas se subdividen en cinco o seis categorías principales, humanas, de las máquinas, de los métodos, de los materiales, del medio ambiente, administrativas, cada una de las cuales se subdividen en subcausas. El proceso continúa hasta que se detectan todas las causas posibles, las cuales deben incluirse en una lista. Un buen diagrama tendrá varios niveles de espinas y

proporcionará un buen panorama del problema y de los factores que contribuyen a su existencia. (p. 19)

De acuerdo con Gómez (2012), el uso de un diagrama de Ishikawa “es la manera sistemática de enfocar las causas que crean o contribuyen a crear efectos. Estos pueden ser la definición del problema o cómo es la situación que usted desea corregir (Gómez, 2012, p. 122).

Diagrama de SIPOC. Este tipo de diagrama es una representación visual y consiste en mapear el proceso completo. Está compuesto por cinco entidades que sirve para documentar los Proveedores (Suppliers), Entradas (Inputs), Procesos (Process), Salidas (Outputs) y Clientes (Customers) en una operación. “El diagrama se usa para proveer información relevante y guía a quienes toman las decisiones sobre todo el proceso, pero sin entrar en mayores detalles” (Organización Internacional de Estandarización, [ISO], 2012).

Diagrama de Pareto. Es una herramienta comúnmente utilizada en el mundo ingenieril debido a su fácil construcción e interpretación:

Sirve para determinar el orden de importancia de las causas de un efecto determinado; en otras palabras, proporciona información sobre las causas más importantes que provocan un problema. El diagrama de Pareto es una gráfica de barras combinada con una curva de tipo creciente que indica el porcentaje que representan los datos graficados en las barras. (Baca et al., 2014, p.124)

Para la construcción de un diagrama de Pareto se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Elegir un problema que se quiera resolver y detectar las causas más comunes que provocan dicho.

2. Clasificar las causas detectadas de acuerdo con el número de veces que dichas causas ocasionaron el problema (frecuencia).
3. Ordenar las frecuencias de mayor a menor y calcular los porcentajes para cada una. Después, calcular los porcentajes de frecuencias acumuladas.
4. Graficar, en el eje de las x, las causas más comunes, iniciando, de izquierda a derecha, con la de mayor frecuencia. Terminar de graficar las causas y en seguida graficar los porcentajes que cada una de éstas representa, según su frecuencia acumulada.
5. Analizar el diagrama para poder resolver las causas de los problemas que se consideren necesarios atacar. (Baca et al., 2014, p.124)

2.3.17 Estudio de Tiempos

El estudio de tiempo permite definir el tiempo necesario consumido para hacer cierta tarea de un determinado proceso elaborada por un operario promedio, esto a su vez favorece en el desarrollo de otras herramientas y para la planeación de producción.

De acuerdo con Niebel y Freivalds (2009) el analista debe de definir el proceso a estudiar, determinar sus ciclos. Luego debe dividirlo en elementos o movimientos precisos que le permitan definir con claridad el ciclo de principio a fin, para ello puede guiarse por movimientos o sonidos.

Pasos para elaborar un estudio de tiempos:

1. Selección del operario

Con ayuda del supervisor se debe seleccionar un operario que tenga un desempeño promedio en el proceso para lograr obtener resultados satisfactorios. Debe ser una persona que conozca claramente el método establecido, que tenga interés y cooperación con el estudio a realizar. Debe haber un mutuo respeto entre el analista y el operario.

El observador debe indicarle al operario previamente del estudio ya que este debe sentirse confiado para no alterar la información. El observador debe estar de pie alejado del operario para no interferir, además debe elaborar un formato donde se incluya información significativa para documentar.

2. Cálculo de la cantidad de ciclos de estudio

Para determinar el tamaño de la muestra, que “es un subconjunto de unidades de observaciones seleccionadas de una población, bajo condiciones preestablecidas que serán objeto de registro y captación de datos” (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2011), se debe de definir las características de la población y por ende el tipo de muestreo, existen dos tipos:

- El muestreo probabilístico “asigna a cada elemento de la población bajo estudio una probabilidad conocida y diferente de cero de ser seleccionado en la muestra” (INEGI, 2011, p.2). Sus subtipos son: aleatorio simple, estratificado y conglomerados.
- El muestreo determinístico : Define el tamaño y selección de la muestra bajo aspectos subjetivos (criterio personal del investigador, conveniencia, entre otros); en este tipo de muestreo los resultados no pueden generalizarse a la población objeto de estudio, son válidos exclusivamente para el conjunto de elementos en muestra (INEGI, 2011, p.2). Sus subtipos son: convencional o accidental, cadena o bola de nieve e intencional o de juicio.

Al elegir el tipo de muestreo, el INEGI (2011) indica que esta decisión depende principalmente de:

La existencia o posibilidad de integrar un marco de muestreo actualizado (conjunto de materiales, listas, archivos, mapas, etc.), del cual se debe seleccionar la muestra, ya que, si

ello es factible, es preferible aplicar el muestreo probabilístico. La imposibilidad de disponer, actualizar o integrar un marco, puede obligar a un muestreo determinístico, u optar por el muestreo sistemático. (p.9)

3. Calificación del desempeño del operario

De acuerdo con Niebel y Freivalds (2009) el tiempo real depende del operario por lo cual, si el operario es muy bueno, habrá que ajustar hacia arriba el tiempo normal, y hacia abajo si el desempeño no es muy bueno.

4. Adición de suplementos y holguras

Según Niebel y Freivalds (2009) para lograr llegar a un tiempo estándar es necesario considerar las interrupciones normales, por lo tanto, es fundamental adicionar un tiempo extra al tiempo considerado como normal. Las clases de interrupciones son las siguientes:

- Necesidades personales: Son las necesidades básicas de cualquier ser humano (ir al baño y tomar agua).
- Fatiga: se asigna dependiendo del lugar de trabajo y sus condiciones.
- Retrasos inevitables: son las interrupciones incontrolables como ejemplo una consulta por parte del supervisor.

5. Cálculos del estudio

Para determinar el tiempo estándar se utilizarán las ecuaciones 2 y 3

$$TN: TO * C/100 \quad (2)$$

$$TE = TN + TN * H \quad (3)$$

Donde:

TN: Tiempo Normal.

TO: Tiempo Observado.

C: Porcentaje de calificación del operario.

TE: Tiempo Estándar.

H: Porcentaje de Holgura.

2.3.18 Simulación

Según Kelton, Sadowski y Sturrock (2008), la simulación se refiere a “un gran conjunto de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, generalmente en una computadora con un software apropiado” (p.4), esto permite crear escenarios digitales para el análisis y toma de decisiones.

Entre las ventajas y desventajas que ofrecen los simuladores están.

Ventajas

- Capacidad para tratar con modelos muy complicados de sistemas.
- Altamente rentable (elevada proporción de desempeño/precio del hardware).
- Herramienta flexible y de fácil uso (Kelton, Sadowski y Sturrock, 2008, p5).

Desventajas

- “Cuando la simulación es afectada por entradas aleatorias e incontrolables, los resultados o salidas serán aleatorios. Ejecutar una simulación estocástica una vez es como realizar un experimento al azar una vez (se requiere de un tiempo para lograr una estabilización)” (Kelton, Sadowski y Sturrock, 2008, p5).

Existen diferentes herramientas o interfaces que permiten analizar datos y por lo tanto resolver problemas o indicar estados para la toma de decisiones. Una de estas herramientas es Anaconda la cual se define como “una ventanilla única para paquetes de Python y R, que resuelve muchos problemas asociados con el uso y la administración de software de código abierto” (Anaconda, 2022). Por lo tanto, su objetivo es que “administre paquetes, reconozca su arquitectura de hardware y mantenga los proyectos separados para garantizar una funcionalidad adecuada” (Anaconda, 2022), evitando así el caos.

Entre los lenguajes de programación se encuentra Python. De acuerdo con la página oficial Python (2022) “Python es un lenguaje de programación orientado a objetos claro y potente, comparable a Perl, Ruby, Scheme o Java.”. Es un lenguaje de programación de alto nivel, aunque el código utilizado es muy sencillo de comprender, permitiendo mayor flexibilidad para diseñar modelos predictivos.

Para facilitar la programación se han diseñado bibliotecas de códigos como Ciw:

Queue es una biblioteca para simular redes de colas. Sus características principales son la capacidad de simular redes de colas, múltiples clases de clientes y bloqueo Tipo I en redes restringidas. También se han implementado una serie de otras funciones, que incluyen prioridad, obstáculos, horarios de trabajo y detección de puntos muertos. (Palmer, 2015)

Además, existen aplicaciones como Jupyter Notebook, que son utilizadas por los usuarios para desarrollar interactivamente documentos donde redactan sus códigos, textos, ecuaciones y datos para definir flujos de trabajo. Entre las ventajas de Jupyter se encuentra la facilidad para los usuarios de poder compartir con otros sus programaciones por medio de archivos (Jupyter, 2022).

Entre los principales usos Recuero (2018) menciona, “la limpieza y transformación de datos, simulación numérica, modelado estadístico, aprendizaje automático y más”.

Histograma. Este tipo de gráfico permite una fácil visualización de los datos debido a la forma de sus barras verticales, por la acumulación de frecuencia y la distribución según el comportamiento en el eje horizontal, de acuerdo con Minitab (2022)

Un histograma divide los valores de la muestra entre muchos intervalos y representa la frecuencia de los valores de datos en cada intervalo con una barra. Un histograma funciona mejor cuando el tamaño de la muestra es al menos de 20. Sin embargo, un tamaño de muestra que sea mayor que 20 puede representar mejor la distribución.

Gráfica de caja. También conocido como gráfico de bigotes debido a su particular forma, Minitab (2022) indica que la funcionalidad de este gráfico es para:

Evaluar y comparar la forma, la tendencia central y la variabilidad de las distribuciones de la muestra, y para buscar valores atípicos. Una gráfica de caja funciona mejor cuando el tamaño de la muestra es al menos de 20. Por opción predeterminada, una gráfica de caja muestra la mediana, el rango intercuartil, el rango y los valores atípicos de cada grupo.

Es necesario conocer los componentes del gráfico para su debida interpretación, Santafe (2022):

Caja: Es un rectángulo que abarca el intervalo intercuartílico de la distribución, es decir el tramo de la escala que va desde el primer cuartil al tercer cuartil, también incluye el 50 % de las observaciones centrales.

La línea que cruza la caja: Es la línea que indica el valor de la media.

Los bigotes: Son las líneas que salen a los costados de las cajas y sirven como referencia para ubicar las observaciones que están por fuera del 50% central de la distribución.

Los puntos: Son los valores atípicos, es decir es una observación extrañamente grande o pequeña, son los puntos que están más allá del límite inferior y superior.

Prueba de Jarque-Bera. La prueba de Jarque-Bera es descrita por Statologos (2022) como “una prueba de bondad de ajuste que determina si los datos de la muestra tienen asimetría y curtosis que coinciden con una distribución normal”. Asimismo Statologos (2022) da entender que si el valor arrojado de p-value por esta prueba no es menor que el valor de p-value teórico de 0,05 , se rechaza la hipótesis nula concluyendo que “hay evidencia suficiente para decir que estos datos tienen asimetría y curtosis que son significativamente diferentes de una distribución normal”.

2.3.19 Costos de producción

“Son aquellos costos que se aplican con el propósito de transformar de forma o de fondo la materia prima en productos terminados o semielaborados utilizando fuerza de trabajo, maquinaria, equipos y otros” (Vallejos y Chilibingua, 2017, p. 9).

Costos de Material Directo. “El costo de material directo es el costo de todas las materias primas que se pueden asociar directamente con una unidad de producto manufacturado” (Jiménez y Espinosa, 2007, p. 48).

“Constituye el insumo esencial sometido a procesos de transformación de forma o de fondo con el fin de obtener un producto terminado o semielaborado. Se caracteriza por ser fácilmente identificable y cuantificable en el producto elaborado. Ejemplos: Tela, hierro, madera, etc” (Vallejos y Chilibingua, 2017, p. 9).

Costo de Mano de Obra Directa. “El costo de mano de obra directa es el costo de toda la mano de obra de producción que se puede asociar directamente con una unidad de producto manufacturado” (Jiménez y Espinosa, 2007, p. 48).

“Es la fuerza de trabajo que interviene de manera directa en la transformación de la materia prima en productos terminados, ya sea que intervenga manualmente o accionando máquinas” (Vallejos y Chiliquinga, 2017, p. 9).

Costos Indirectos de fábrica. Se definen como:

Los costos indirectos de manufactura, también conocidos como gastos indirectos de fábrica, gastos generales de fabricación o carga fabril son todos aquellos costos de fabricación asociados con las operaciones de manufactura y en los que se incurren múltiples objetos de costo tales como: material indirecto, mano de obra indirecta, mantenimiento, energía, depreciación, seguros, servicios de apoyo a la fabricación y otros. (Jiménez y Espinosa, 2007, p. 49).

Costos Fijos. “Permanecen constantes frente a cualquier volumen de producción. Ejemplos: Mano de obra directa e indirecta, depreciaciones de activos fijos (método línea recta), seguros, arriendos, etc” (Vallejos y Chiliquinga, 2017, p. 42).

Costos Variables. Los escritores Vallejo y Chiliquinga (2017) afirman lo siguiente:

Tienen un comportamiento directamente proporcional al volumen de producción. A mayor cantidad mayor costo, a menor cantidad menor costo. Ejemplos: Materiales directos e indirectos, lubricantes, mano de obra directa por obra o a destajo, depreciación maquinaria (método unidades de producto), comisiones en ventas, etc. (p. 42)

2.3.20 Análisis Costo-beneficio

La rentabilidad de un proyecto es un aspecto de peso por cual es necesario realizar un Análisis costo-beneficio (ACB), es un proceso sistemático para calcular y comparar los beneficios y costos de un proyecto con dos objetivos: primero para determinar si es una buena inversión (justificación / de viabilidad) y segundo para ver cómo se compara con los proyectos alternativos (clasificación / asignación de prioridad) (ManufacturingTerms, s.f.).

Básicamente “se trata de comparar el costo total esperado de cada opción contra los beneficios totales de esperar, para ver si los beneficios superan los costos, y por cuánto” (ManufacturingTerms, s.f.).

2.3.21 Indicadores financieros

Los datos cuantitativos se convierten en información que nos ayudan tomar decisiones para asegurar el éxito. Ramírez (2022) señala que “los indicadores financieros nos permiten analizar, de una forma segura, el posible proyecto de inversión y nos ayudará a disipar con información precisa, esas dudas frecuentes”.

La Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento, TMAR

Es un porcentaje que, normalmente, lo determina la persona que va a invertir en un proyecto. Esta tasa se usa como referencia para determinar si el proyecto le puede generar ganancias o no. Así pues, si el proyecto no tiene una tasa de rendimiento superior a la TMAR, no será aprobado por el inversor. (López, 2020)

Entre los factores considerados para el cálculo de la TMAR están:

Tasa Básica Pasiva (TBP), se entiende como “un promedio ponderado de las tasas de interés brutas de captación a plazo en colones, de los distintos grupos de intermediarios

financieros, que conforman las Otras Sociedades de Depósito (OSD)” (Banco Central de Costa Rica [BCCR], 2016)

Tasa de riesgo de inversión en país,

Determina si en ese país existe un escenario óptimo para la inversión o no. Si el riesgo país es elevado, el riesgo de invertir en ese país es más alto. Cuando la prima de riesgo de un país es alta, el riesgo país es elevado. Existen muchas causas de un riesgo país elevado, el tono político, económico o la seguridad pública influirán directamente en la prima de riesgo de ese país. (Peiro, s.f)

S&P 500 es uno de los principales índices de la bolsa mundial, es el índice creado por la firma de calificación Standard & Poor’s en 1957, para dar una visión más fiel del rumbo del mercado.

Dentro de este índice están las 500 empresas más grandes de Estados Unidos, ya sean del NYSE o del Nasdaq, y se hace una media de cómo evolucionan estas empresas. El resultado nos dice si en conjunto, todas las empresas que lo componen están creciendo o están sufriendo una corrección. (Escuela Profesional de Traders,, s.f.)

Tasa del rendimiento del bono del tesoro según Investing.com, (s.f.) “representa el beneficio que recibirá un inversor si se queda el bono hasta su vencimiento y es un indicador muy fiable de la situación de la deuda del Gobierno.”

El Valor Actual Neto, VAN. Calcula la rentabilidad de la inversión y arroja sus resultados en términos de unidades de valor monetario. Se determina mediante la actualización de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial. Si el resultado de esta

operación es positivo, es decir, si refleja ganancia se puede decir que el proyecto es viable. (Ramírez, 2022)

Para realizar el cálculo del VAN se utilizan los siguientes parámetros:

1. Inversión inicial, es el monto total de la inversión realizada para iniciar el proyecto.
2. Inversión realizada durante el proceso, excluyendo la inversión realizada inicialmente.
3. Flujos netos de efectivo, diferencia resultante entre los ingresos y egresos que se prevén a lo largo del proyecto.
4. Tasa de oportunidad, la mínima rentabilidad deseada por la inversión.
5. Periodo de tiempo, cantidad de tiempo o número de periodos económicos que se estima durara el proyecto. (Ramírez, 2022)

Asimismo, la Tasa Interna de Retorno conocido como TIR “se utiliza frecuentemente para analizar la viabilidad de un proyecto y determinar la tasa de beneficio o rentabilidad que se puede obtener de dicha inversión. Utiliza el flujo de caja neto proyectado y el monto de la inversión del proyecto” (Ramírez, 2022).

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

El enfoque determinado para la investigación científica es el cuantitativo puesto que se plantean diferentes variables de estudio, medibles y observables que requieren ser medidas y estudiadas para posteriormente recolectar y analizar los datos numéricos. El carácter cuantitativo se basa en aspectos observables y susceptibles de cuantificar, además usa la metodología empírico-analítica y la estadística (Barrantes, 2007).

3.2 Alcance de la investigación

Según la investigación cuantitativa existen distintos tipos de enfoques, sin embargo, en el transcurrir de este proyecto se desarrollan tres tipos, primeramente, el descriptivo, que consiste en explicar las características, propiedades y rasgos del proceso donde se considera el desperdicio generado. De acuerdo con Fernández (s.f.) “El objetivo de este tipo de investigación es exclusivamente describir; en otras palabras: indicar cuál es la situación en el momento de la investigación” (p.7).

También se utilizará el enfoque correlacional para conocer la asociación entre dos o más variables con el fenómeno estudiado y con ello poder determinar un comportamiento o tendencia de estas.

Finalmente será desarrollada la investigación explicativa donde Hernández et al. (2006) nos indica que:

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés

se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. (p. 108)

3.3 Formulación de hipótesis o preguntas generadoras

De acuerdo con el objeto de estudio se han planteado las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuál es el proceso principal y subprocesos que permiten la producción de polietileno?

¿Cuáles materias primas son utilizadas para la producción de polietileno?

¿Cuáles son los factores y causas que generan el desperdicio de materia prima?

¿Cuál es el origen de las causas raíz que provocan el desperdicio de materia prima?

¿Qué herramientas se podrían desarrollar para mejorar el proceso de extrusión?

¿Cómo se desenvuelve el proceso de extrusión actualmente?

¿Cómo se comportaría el proceso de extrusión con mejoras?

¿Cuánto es la inversión económica y el beneficio del proyecto?

3.4 Definición de variables o categorías de análisis

Tabla 2

Análisis de variables del proceso de extrusión.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Planificación de la producción	“...se definen las cantidades demandadas a mediano y corto plazo de familias de producto o artículos individuales, las cuales serán las principales entradas a las siguientes etapas en proceso” (Castro,2008, p. 35)	La planificación ayuda a obtener una referencia a la toma de decisiones y resulta el proceso de conexión entre estrategias empresariales (ventas y compras) y las estrategias de operación (producción).	Mediante el cumplimiento de los objetivos se logra determinar cuáles son las metas requeridas por parte de las áreas involucradas (ventas, compras y producción).
Programación de la producción	“...las órdenes de producción son liberadas al piso de la planta, determinado para cada una de ellas, la secuencia de operaciones a seguir, los recursos específicos (máquinas o personas) a utilizar, y las fechas de inicio y terminación de las diferentes actividades” (Castro,2008, p. 36)	Se consideran diferentes factores influyentes (conurrencia de órdenes de trabajo, disponibilidad de máquinas, tiempo de corrida y mano de obra) para coordinar las órdenes de producción y entregar a tiempo del producto terminado.	Órdenes de producción entregadas a tiempo.
Método de trabajo	“el método debe relacionarse con las mejores técnicas o habilidades disponibles a fin de lograr una eficiente interacción humano-máquina” (Todo Ingeniería Industrial, s.f.)	El método de trabajo está diseñado para que el operario labore de forma eficiente, segura, apegado a las especificaciones en un tiempo estándar previamente determinado.	Diagramas de flujo. Diagrama de recorrido. Estudio de tiempos.
Control de Calidad	“...busca lograr una producción y servicio a nivel más económico, ajustado a las especificaciones técnicas y necesidades preestablecidas, respectivamente, y a la satisfacción completa de usuario” (Ramírez, 2011, p. 376)	Da un servicio, en el cual se determina el cumplimiento de los parámetros establecidos para entregar un producto conforme a las necesidades del consumidor.	Control de proceso (verificación de parámetros y especificaciones técnicas y conformidad de materia prima).

Tabla 3 (Continuación)

Variabes	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Inventarios	“Consiste en un listado ordenado y valorado de productos de la empresa. Por tanto, ayuda a la empresa al aprovisionamiento de sus almacenes y vienes ayudando el proceso comercial o productivo, y favoreciendo con todo ello la puesta a disposición del producto al cliente” (Cruz, 2017, p. 17)	Los inventarios de la empresa están considerados desde la materia prima hasta el producto terminado. Refleja la cantidad que se puede producir e indica al departamento de compras si es necesario solicitar más materia prima con el fin de abastecer la producción a tiempo.	Tiempo de entrega. Demanda futura de producto.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

El presente trabajo de investigación será elaborado en la empresa Resinplast S.A. en Costa Rica, la cual está compuesta por nueve áreas, que son: Ventas, Compras, Producción, Ingeniería y Desarrollo, Calidad, Planificación, Contabilidad, Recursos Humanos y Administración.

El personal está compuesto por un promedio de 60 colaboradores en el área administrativa y 110 en el área operacional.

3.5.2 Muestra

El estudio será realizado directamente en las siguientes áreas: Producción (procesos de extrusión) conformado por 6 colaboradores, Ingeniería y Desarrollo compuesto por 5 personas, Calidad 10 personas, Planificación 2 colaboradores y Costos 2 personas.

3.6 Técnicas e instrumentos

3.6.1 La Observación

La observación del objeto de estudio permite generar un planteamiento de interrogantes y cuestionamientos, para tal caso puede realizarse con grado de intervención natural (Barrantes, 2007).

3.6.2 Fichas de cotejos

Esta herramienta permite registrar el fenómeno estudiado mediante la validación de variables utilizando una escala adaptable al observador.

3.6.3 Entrevistas

Existen entrevistas dirigidas y no dirigidas que permiten al entrevistado la confianza de narrar sobre sus experiencias y preguntar dudas. Debe existir técnica y confianza por ambas partes para lograr de forma efectiva las entrevistas.

3.6.4 Diagramas de proceso

Los diagramas son representaciones gráficas con símbolos que permiten comprender de manera visual cada una de las etapas del proceso involucrado. Existen diferentes tipos de diagramas que permiten visualizar en ellos información como distancias, tiempo por operación, entradas de materias primas, entre otros.

3.6.7 Análisis de registros y documentación

Las empresas almacenan información de sus procesos, en forma documental por medio de registros y digital por medio del sistema de información, sin embargo, se debe seleccionar y analizar con particular cuidado la información considerada como relevante, ya que esta será de gran orientación para el éxito del estudio.

3.7 Procedimientos

Para lograr los objetivos planteados en el proyecto se lleva a cabo una metodología con el fin de realizar una propuesta para disminuir el desperdicio de polietileno en el proceso de extrusión por medio de la aplicación de herramientas ingenieriles. Por lo tanto, se plantea el desarrollo del proyecto mediante la ejecución de los siguientes pasos:

- Conocer el proceso actual, funcionamiento y personal involucrado en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica.
- Realizar un diagnóstico del proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica.
- Analizar la información recolectada del proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica.
- Desarrollar un análisis de desperdicios para determinar las causas que las originan.
- Analizar cada una de las causas encontradas con el fin de conocer el origen que las provocan.
- Proponer soluciones plasmadas en la metodología de Lean Manufacturing.
- Desarrollar las propuestas para demostrar cómo lograr una reducción de desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión.
- Diseñar una simulación del proceso analizado mediante un software para validar el método de trabajo actual y las mejoras aplicables en la línea de extrusión.
- Realizar un análisis costo beneficio para las propuestas de mejora en el área de extrusión, que permita validar la inversión económica requerida y la recuperación de esta.
- Elaborar un cronograma de implementación de las mejoras propuestas con el fin de que estas sean puestas en práctica.

3.8 Análisis de datos

Analizar la información recolectada en el campo de estudio, mediante el desarrollo de distintas herramientas ingenieriles, con el fin de interpretar los resultados para tomar decisiones sobre el proyecto y realizar recomendaciones pertinentes enfocada a la mejora.

3.9 Cronograma

En la Tabla 3 se muestra de forma general las actividades con el tiempo abarcado para desarrollar por completo el proyecto final de graduación.

Adicionalmente, se muestra en la Figura 6 un gráfico de Gantt elaborado con la información descrita en la Tabla 3. Esta herramienta nos permite visualizar fácilmente las tareas del proyecto y gestionarlas en la línea del tiempo.

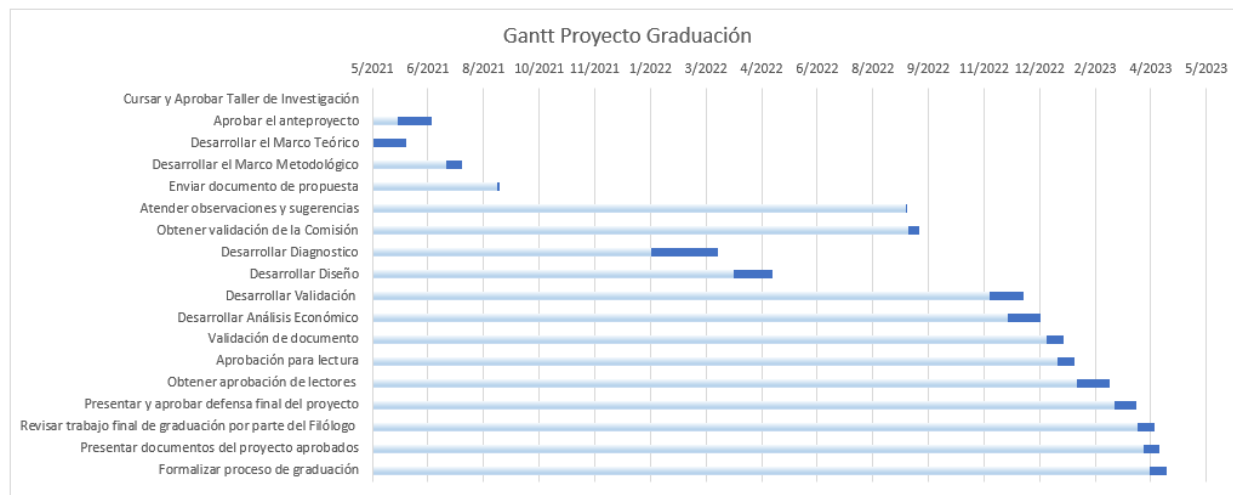
Tabla 4

Descripción, fechas y tiempo invertido en cada una de las actividades del proyecto planteado.

Actividad	Fecha Inicio	Fecha Final	Días
Cursar y Aprobar Taller de Investigación	15/1/2020	1/5/2020	107
Aprobar el anteproyecto	1/6/2021	1/7/2021	30
Desarrollar el Marco Teórico	9/5/2021	13/7/2021	30
Desarrollar el Marco Metodológico	14/7/2021	29/7/2021	15
Enviar documento de propuesta	29/8/2021	31/8/2021	2
Atender observaciones y sugerencias	1/9/2022	2/9/2022	1
Obtener validación de la Comisión	3/9/2022	13/9/2022	10
Desarrollar Diagnostico	15/1/2022	16/3/2022	60
Desarrollar Diseño	30/3/2022	4/5/2022	35
Desarrollar Validación	15/11/2022	15/12/2022	30
Desarrollar Análisis Económico	1/12/2022	31/12/2022	30
Validación de documento	5/1/2023	20/1/2023	15
Aprobación para lectura	15/1/2023	30/1/2023	15
Obtener aprobación de lectores	1/2/2023	3/3/2023	30
Presentar y aprobar defensa final del proyecto	7/3/2023	27/3/2023	20
Revisar trabajo final de graduación por parte del Filólogo	28/3/2023	12/4/2023	15
Presentar documentos del proyecto aprobados	2/4/2023	17/4/2023	15
Formalizar proceso de graduación	8/4/2023	23/4/2023	15

Figura 6

Gráfico de Gantt.



CAPÍTULO IV
DESARROLLO

4.1 Descripción de la situación actual

En este apartado se describe el proceso productivo de la línea en estudio, además de la aplicación de diferentes técnicas y herramientas para recolectar información valiosa y desarrollar tal diagnóstico.

4.1.2 Descripción general del proceso de fabricación de polietileno en la línea de extrusión

El área de extrusión forma parte de los procesos de producción, se encarga de producir rollos de láminas de polietileno que serán destinadas a usarse como empaque primario o secundario, pero principalmente como capas sellantes para la formación de las estructuras de los productos terminados.

4.1.3 Producto

La extrusora produce hoy en día aproximadamente 28 tipos de polietileno, de los cuales 19 participan como capa sellante o impresa en 98 estructuras y los otros 9 tipos son elaborados para ser usados como monocapa debido a sus diferentes funcionalidades. Cada uno de ellos se puede producir en apariencia transparente o blanca según la necesidad y mercado.

A pesar de la gran cantidad estos se pueden agrupar en cinco familias:

Tabla 5

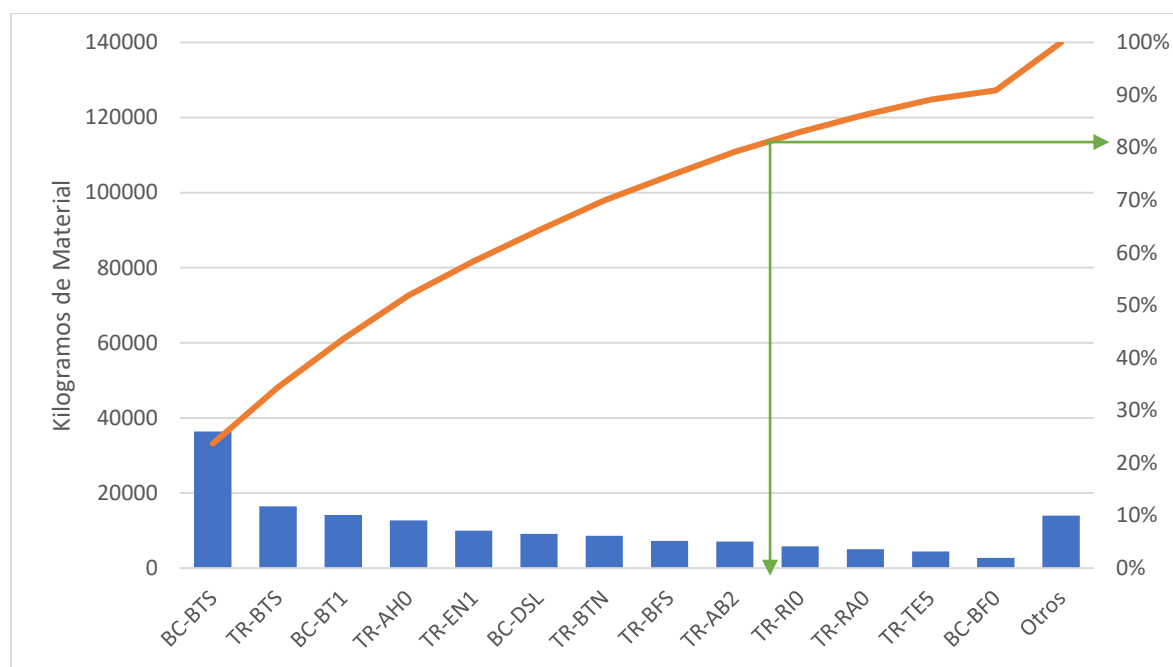
Tipos de polietileno.

Agrupación	Cantidad
Enfarde	2
Polietileno	4
Capa sellante	15
Termoencogible	6
Agroindustrial	1

Se realiza un gráfico de Pareto para determinar cuáles son los tipos de polietilenos que son más producidos. Este análisis arroja en la Figura 7 que lo más producidos son capas sellantes y dentro de estas existen nueve tipos, además se analiza que en esta categoría se encuentran los tipos que tuvieron el mayor porcentaje de desperdicio durante el año 2021, la TR-BTS y la BC BTS.

Figura 7

Gráfico de Pareto por familia de láminas.



Adicionalmente, en la Tabla 5 aparecen los resultados de la revisión para cuantos artículos de producto terminado está destinado cada una de estas capas sellantes, y se concluye que la capas sellantes que tienen mayor desperdicio, TR-BTS y BC-BTS, son las más utilizadas en productos terminados.

Tabla 6

Resultado de participación de capas sellantes en productos terminados.

Familia	Artículos de Producto Terminado	Representación porcentual
TR-BTS	310	10,87 %
BC-BTS	95	3,33 %

TR-AH0	20	0,70 %
BC-DSL	18	0,63 %
TR-AB2	15	0,53 %
TR-BTN	15	0,53 %
TR-BFS	10	0,35 %
BC-BT1	5	0,18 %
TR-EN1	3	0,11 %

Con respecto a la calidad, para lograr una lámina de polietileno aceptable desde esta perspectiva, esta no debe presentar los defectos expuestos en la Tabla 6.

Tabla 7

Lista de defectos en una lámina de polietileno.

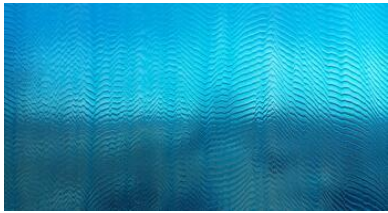

Tipo	Descripción	Figura
Labrado	Apariencia de piel de pescado o fracturado en la superficie de la película.	
Piel de naranja	Apariencia de similar a la cáscara de una naranja.	

Tabla 6. (continuación)


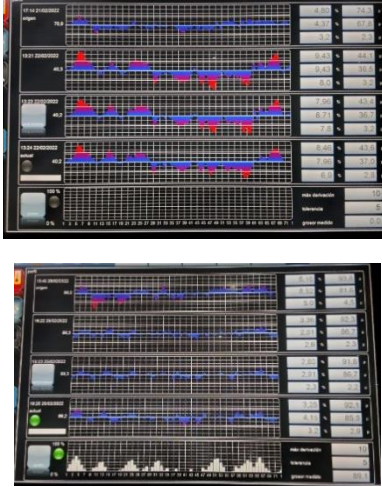


Tipo	Descripción	Figura
Líneas de extrusión o líneas de dado	Franjas longitudinales con apariencia más opaca que el resto de la película.	No disponible.
Geles y carbones	Partículas de resina no fundida, degradada o quemada de apariencia opaca o negra en la película. En películas de espesores menores 30 micras puede provocar rompimiento de globo extruido.	
Variación de calibre	El espesor o calibre de la película de polietileno está fuera del rango aprobado o especificado.	
Apariencia de embobinado	Son irregularidades en el espesor de la película, lo que genera abultamientos por secciones en la bobina embalada final.	No disponible.
Nivel de tratamiento (dynas)	La tensión superficial de la película no es igual o mayor a 38 dynas o la tensión superficial no es uniforme en la película.	No disponible.

Tabla 6. (continuación)

Tipo	Descripción	Figura
Transparencia y brillo	Mala claridad y brillo de la película con respecto a la fórmula utilizada.	
Telescopio	Embobinado no uniforme, se nota de manera visual ubicándose de lado de la bobina	

4.1.4 Clientes

Cliente interno: el cliente interno es el almacén de producto terminado, quien recibe el producto en forma de rollos sobre tarimas plásticas.

Cliente externo: Resinplast ofrece sus productos a más de 200 empresas a nivel nacional e internacional.

4.1.5 Materiales e Insumos

Resinas: son la base principal para elaborar las películas de polietileno, sus combinaciones hacen posibles productos con diversas ventajas. En la Tabla 7 se muestran sus diferentes tipos y usos:

Tabla 8*Tipos de resinas y características.*

Tipos de resinas	Característica principal
Alta densidad	Permite rigidez, barrera a la humedad, y holding forcé.
Baja Convencional	Procesabilidad y mejoramiento de ópticas.
Baja Fraccional 0.3	Resistencia en peso y bajar el índice de fluidez.
Baja Fraccional 0.7	
Lineal Buteno	Resistencia mecánica, resistencia al congelamiento y buena sellabilidad.
Lineal Hexeno	
Lineal Octeno	
Media Convencional	
Metaloceno Hexeno	
Metaloceno Octeno	
Metaloceno Hexeno ultra alta densidad	
Plastómeros	Sello a baja temperatura y sello bajo contaminación.
Polipropileno Random	Permite rigidez y barrera al olor y sabor.

Aditivos: son asignados en las formulaciones en proporciones variadas con el fin de mejorar las propiedades del producto final.

Tabla 9*Tipos de aditivos.*

Tipos	Característica principal
Antioxidante	Retardante de degradación y pérdida de propiedades.
Ayuda de proceso	Mejora la procesabilidad.
Antiestático	Reduce la carga estática.
Absorbente de Olores	Reductor de olor a plástico.
Slip	Permite contralar el coeficiente de fricción.
UV estabilizador de luz	Protección a la exposición a la luz ultravioleta.

Pigmentos: son utilizados en las formulaciones de las mezclas en pequeños porcentajes para pigmentar la película. Actualmente solo se utiliza el de color blanco.

Cores: tubos de cartón utilizados para embobinar el material salido de la extrusora, varían según tres tipos de media: espesor de pared, diámetro interno y longitud. Son asignados según el tipo de polietileno.

Tabla 10

Cores según el tipo de polietileno.

Agrupación	Core que utiliza
Enfarde	Core cartón 3" 11,5mm
Polietileno	Core cartón 3" 11,5mm
Capa sellante	Core cartón 3" 11,5mm
Termo encogible	Core cartón 3" 11,5mm
Agroindustrial	Core cartón 3" 8mm

4.1.6 Proveedores

Proveedores internos:

Planificación: se encarga de generar el programa de producción y por ende las órdenes de trabajo para que cada área pueda trabajar según la demanda.

Almacén de materia prima: se encarga de proveer a extrusión con los sacos de resinas, aditivos, pigmentos, así como los cores de acuerdo con la cantidad y especificación de cada una de las órdenes.

Proveedores externos:

Nacionales: a nivel interno se logra comprar a los productores los cores y pigmento blanco, sin embargo, algunas de las resinas y aditivos se puede conseguir, pero con distribuidores.

Internacionales: hay algunos tipos de resinas que solo se pueden conseguir por importación desde países como Estados Unidos, Medio Oriente, y Asia.

4.1.7 Equipos y Herramientas

En la Tabla 10 se describen todos los equipos y herramientas utilizados en la producción de láminas de polietileno.

Tabla 11

Equipos y herramientas usados en extrusión.


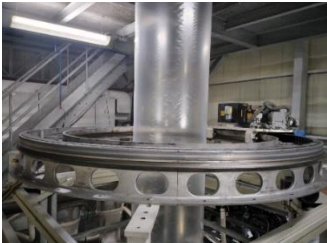

N.º	Nombre	Descripción	Figura
1	Tratadora corona	Aumenta la tensión superficial de la lámina para que esta pueda ser laminada o impresa. Esta herramienta tiene la capacidad de tratar por secciones desde las 38 hasta las 42 dynas.	
2	Medidor de espesor	Con el ojo lector, le permite medir el espesor de la película alrededor de todo el globo, enviando los resultados a la base de datos del sistema.	
3	Rodillos formadores	Están posicionados alrededor del globo para comprimirlo y permitir la entrada o salida del aire. Es controlado de forma manual desde el sistema principal de la extrusora.	

Tabla 10. (continuación)







N.º	Nombre	Descripción	Figura
4	Turbinas	Permiten que la resina que están en los estañones sea succionada por las mangueras.	
5	Alineadores	Tienen un ojo lector que envía datos al sistema principal para controlar el ancho de salida de la película. Son dos y cada uno está colocado a un lado de la película.	
6	Prensa	Presiona y jala el material extruido para que pase por los otros rodillos.	
7	Prensa embobinadora	Recoge el material y lo embobina en un core final.	
8	Mangueras	Succionan la resina y la lleva a los tanques dosificadores. Son 18 en total, 6 para cada cañón y cada una de ellas varía en potencia de succión según la capacidad de los tanques dosificadores.	

Tabla 10. (continuación)

N.º	Nombre	Descripción	Figura
9	Tanques dosificadores	Pesan la resina y vierten el porcentaje programado para cada cañón según la fórmula ingresada.	

4.1.9 Área de trabajo

Temperatura: la funcionalidad de la máquina extrusora con altas temperaturas, la salida del producto en caliente y la zona geográfica favorecen el incremento de la temperatura en esta área. Existen inyectores de aire distribuidos por la planta que permiten la circulación del aire, sin embargo, cerca de estas zonas se logra alcanzar 27.1°C.

Ruido: la planta está distribuida de forma que las áreas de extrusión, laminado, e impresión están separadas unas de otras por unos cuantos metros. Además, es necesario que todas funcionen al mismo tiempo haciendo que todos los ruidos se escuchen en conjunto, alcanzando valores por encima de lo permitido. De acuerdo con lo anterior, es necesario que el personal utilice tapones u orejeras para mitigar el ruido. En el área de extrusión la exposición es de 88 dBA durante 11 horas.

Iluminación: cuentan con láminas translúcidas e iluminación artificial, no obstante, por la forma de la máquina extrusora existen lugares donde la iluminación es poca para las actividades realizadas en el área.

4.1.8 Sistema Documental

Actualmente la compañía registra su sistema de gestión y calidad bajo la norma ISO 9001. El área de extrusión tiene a su disposición diferentes documentos y registros relacionados con los procesos y tareas laborales.

Estos documentos existen en formato digital en una base de datos controlada por la empresa llamada ISO Tools y de forma impresa para que lo operarios puedan acceder a ellos por cada área.

Tabla 12

Documentos utilizados en el área de extrusión.

Tipo	Nombre
Instructivo	GO-MA-I-13 Apagado y arranque de máquinas de extrusión
Registro	GO-MA-R-05 Hoja de control de extrusión
Registro	GO-MA-R-16 Cambio de mallas en equipo de extrusión
Registro	GO-MA-R-17 Lista de chequeo para paro de equipo de extrusión
Registro	GO-MA-R-19 Ficha de Control de Proceso de Extrusión
Registro	GO-MA-R-27 Lista de chequeo para arranque de equipo de extrusión
Registro	GO-MA-R-22 Ficha Técnica de Láminas de Polietileno Fabricadas en Resinplast
Manual	GO-MA-M-04 Problemas y Soluciones Extrusión

4.1.10 Recursos Utilizados

Para lograr producir películas extruidas de excelente calidad y a bajo precio se requiere de la contribución de los diferentes departamentos. El personal trabaja en dos turnos de 12 horas cada uno y es de lunes a viernes a excepción de los analistas de calidad que mantienen un horario de tres turnos. El montacarguista mencionado no es un recurso único para extrusión, este se encarga de abastecer todas las otras áreas productivas.

Tabla 13

Horarios y tiempos de los recursos utilizados.

Departamento	Colaborador	Turno	Actividad	Tiempo (h)	Días hábiles por mes
Producción- Almacén	1 Operario 1 Ayudante 1 Montacarguista	Mañana (6:30 a.m. – 6:30 p.m.) 12 horas	Trabajo	11	20
			Descanso	1	
Producción- Almacén	1 Operario 1 Ayudante 1 Montacarguista	Tarde (6:30 p.m. – 6:30 a.m.) 12 horas	Trabajo	11	20
			Descanso	1	
Calidad	1 Analista	Mañana (6:00 a.m. – 2:00 p.m.) 8 horas	Trabajo	7,5	24
			Descanso	0,5	
Calidad	1 Analista	Tarde (2:00 p.m. – 10:00 p.m.) 8 horas	Trabajo	7,5	24
			Descanso	0,5	
Calidad	1 Analista	Noche (10:00 p.m. – 6:00 a.m.) 8 horas	Trabajo	7,5	24
			Descanso	0,5	

4.1.11 Proceso

Proceso de Abastecimiento. El proceso general inicia por parte del departamento de planificación donde ellos elaboran y analizan un Plan de Requerimientos de Materiales (MRP). De acuerdo con los resultados del análisis hacen la solicitud de requerimientos vía correo al departamento de compras, esta solicitud indica el código de material, cantidad y fecha.

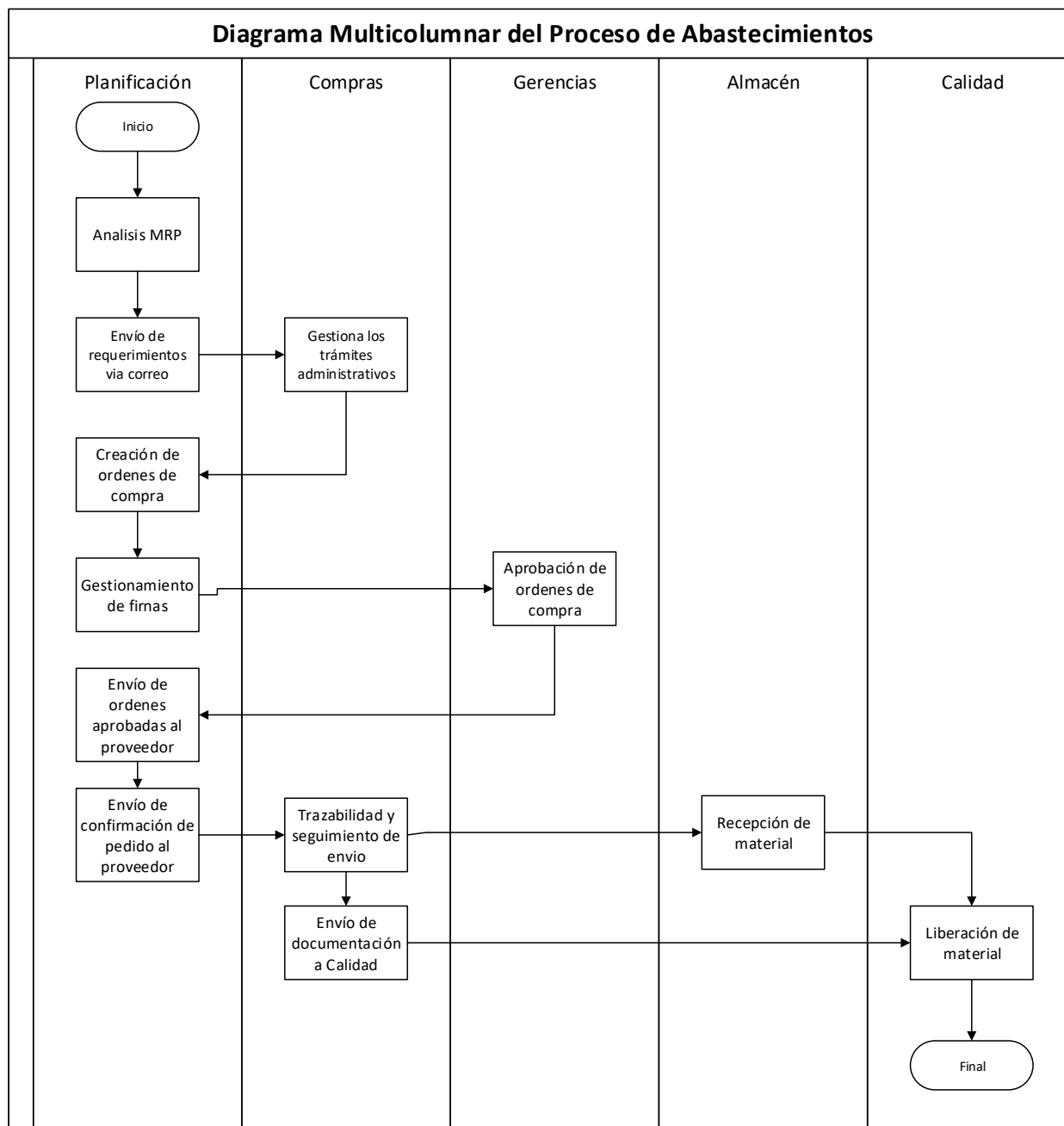
Compras se encarga de gestionar con los proveedores todos los aspectos necesarios para que el material llegue según lo solicitado. Una vez acordado con los proveedores, el personal de compras le da el aval a la asistente de planificación para que elabore las órdenes de compra.

La asistente de planificación se encarga de realizar las órdenes de compra y de gestionar el proceso de firmas que tarda alrededor de 7 días, máximo. Luego estas órdenes son enviadas al proveedor para que este mismo reenvíe la confirmación de pedido, sea firmada por responsable de Resinplast y devuelta al proveedor.

Lista la orden de compra de parte de Resinplast, se da un seguimiento para tratar de asegurar la llegada en el tiempo previsto. Una vez que el proveedor coloca los materiales en el medio de envío, le comparte a los encargados de compras el Certificado de Calidad y facturas, además estos documentos son compartidos con Almacén y Calidad para que se reciba, descargue e ingrese al sistema el material para ser analizado y validado por calidad.

Figura 8

Gráfico Multicolumnar del Proceso de Abastecimiento.



Proceso de Extrusión. El proceso comienza cuando el planeador de control de la producción le entrega a uno de los supervisores de producción el programa de extrusión. Luego el supervisor a cargo revisa el programa con los operarios y les imprime las ordenes con más prioridad que deben producir.

Una vez que tiene las ordenes impresas, el supervisor de extrusión le indica al operador de montacargas cuales son las prioridades, para que este le entregue la materia prima correspondiente. El montacarguista de planta procede a preparar las ordenes de materia prima solicitada según las prioridades que tenga él en ese momento, ya que este montacargas abastece también a los otros procesos de producción. De igual manera el coordinador del almacén tiene a su disposición el programa de producción digital para que planifique la preparación de previa de materiales.

El operador de montacarga le entrega al operario o ayudante de extrusión las materias primas por orden acomodadas en una sola tarima, el operario revisa la cantidad de kilos, que de acuerdo con el tamaño de la orden puede ser entregada de una sola vez o por partes y también revisa que coincida la etiqueta pegada a los sacos con la codificación de la orden y si no trae las etiquetas revisan en una lista de códigos de materias primas el grado de la resina y aprueban la entrega. El montacarguista coloca la tarima con las resinas en la sección de materia prima para proceso de extrusión.

En conjunto el operario y ayudante de extrusión comienzan a preparar la máquina, leen la orden y según ésta colocan códigos de los grados de las resinas en la computadora, así como los porcentajes de cada una, digitan el ancho de salida de globo, espesor en micras, ajustan las temperaturas del cañón y la presión del aire.

Además, limpian las tolvas y colocan las resinas físicas en cada uno de los componentes según la capacidad de las mangueras de extrusión detallado en el cuadro siguiente:

Tabla 14

Capacidad de absorción de las mangueras.

Mangueras	Capacidad
1 y 4	10 al 100 %
2 y 5	1 al 20 %
3 y 6	0,5 al 5 %

Luego encienden los siguientes sistemas: motor principal, turbina de aire, sistema IBC (Internal Bubble Cooling) y la prensa jaladora en embobinado abajo.

Una vez encendidos todos estos sistemas se procede a poner en marcha el motor principal, el material que sale es jalado por la prensa de la torre que a su vez funciona como retenedor del aire que va inyectando el sistema IBC (Internal Bubble Cooling) y así ir formando la burbuja o globo, el material continúa por diferentes rodillos incluyendo los tratadores hasta llegar a la prensa del embobinado que es donde termina en un core para así formar un rollo o bobina.

Una vez que el operario y ayudante de extrusión consideren que el proceso está estable, miden el espesor con el micrómetro digital portátil para verificar que este dentro de la tolerancia. Asimismo, verifican el ancho en el que va saliendo la película, apariencia, y tratado si la orden lo solicita.

Luego desmontan la bobina inicial de arranque y la reportan como desperdicio, colocan el core indicado por la orden y comienzan a embobinar la película, entregan al inspector de calidad una muestra, este procede hacer los respectivos análisis según el tipo de polietileno que pide cada

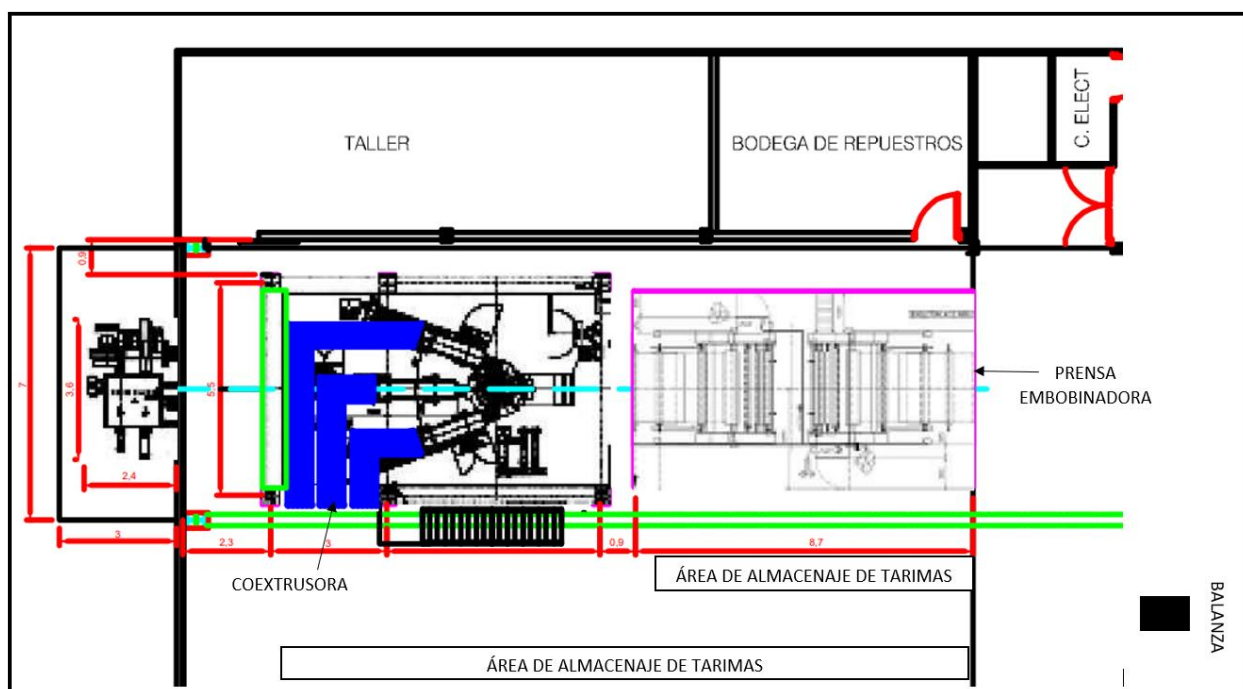
orden. Por cada desmontaje el operario o ayudante de extrusión debe entregar a calidad una muestra.

Una vez terminada la orden las bobinas se embalan con plástico adhesivo, pesan, colocan sobre tarimas, flagelan y entregan al almacén para que las asigne en el área respectiva.

En la Figura 9 se muestra el diseño actual del área de extrusión, en la Figura 10 el diagrama SIPOC donde se explica el proceso y gestión total, por último, en la Figura 11 se ve el diagrama general de operaciones de la producción de polietileno.

Figura 9

Plano Área de extrusión.



Fuente: Resinplast S.A.

Figura 10

Diagrama SIPOC.

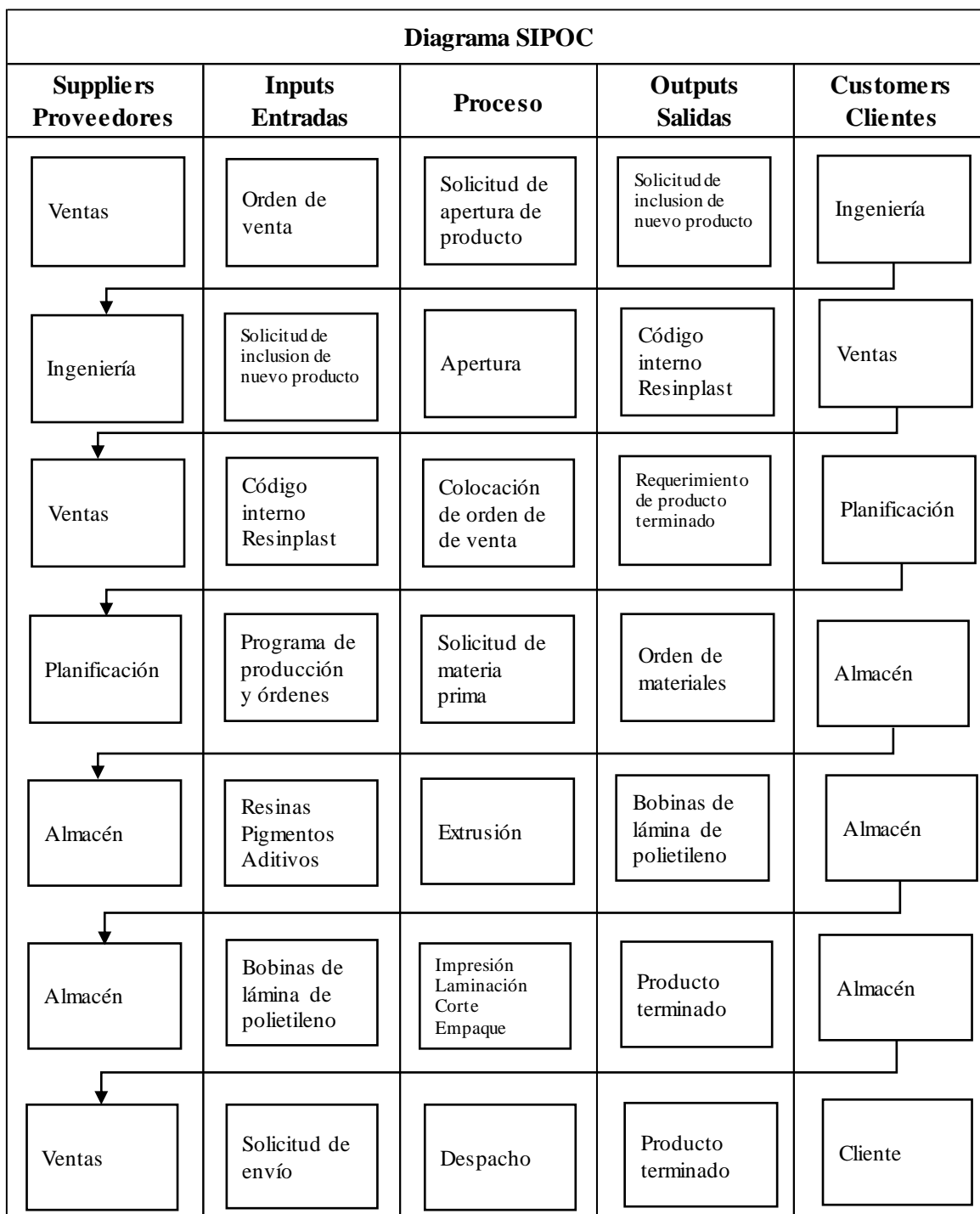
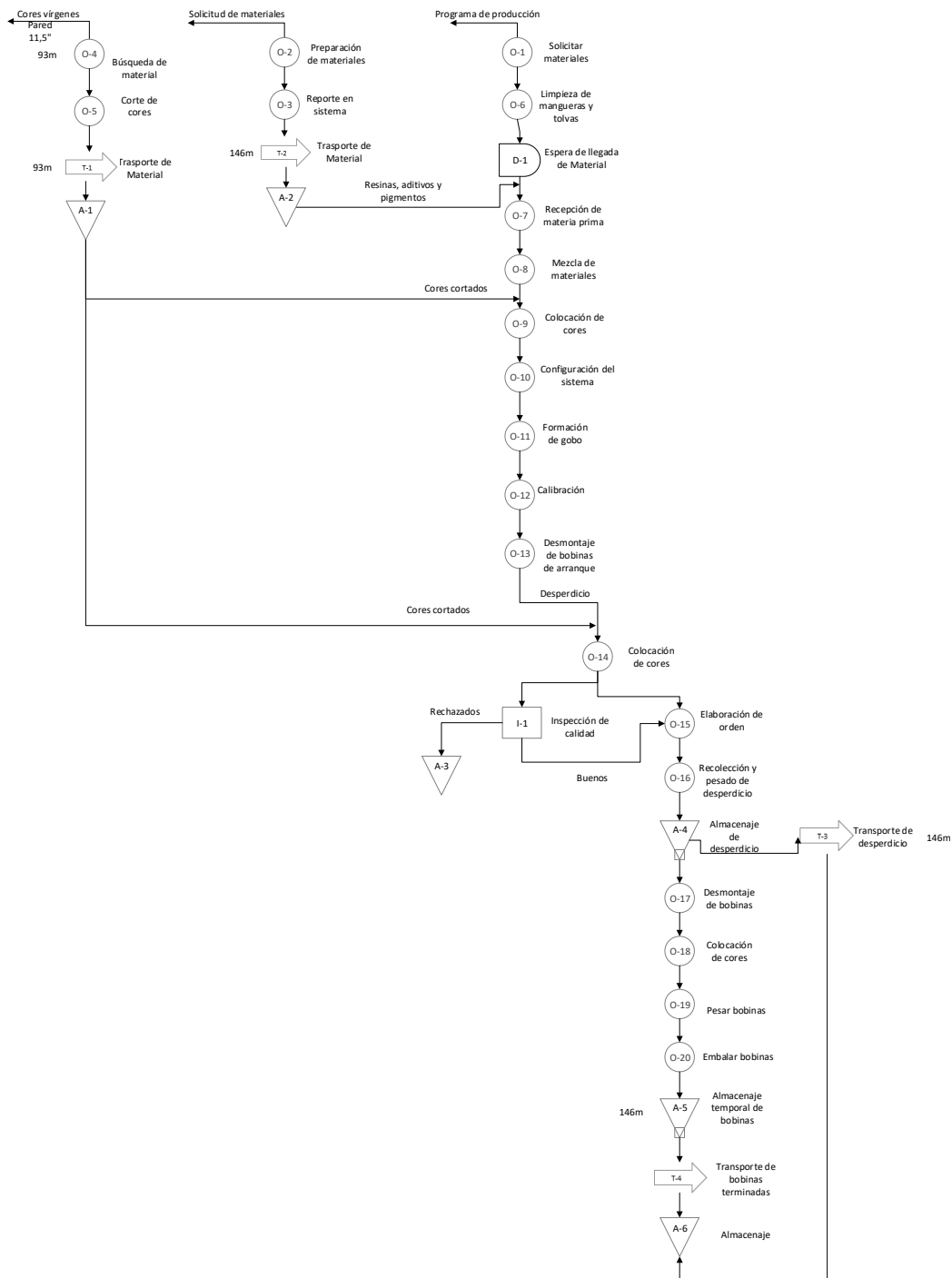


Figura 11

Diagrama de Operaciones Proceso Extrusión.



4.2 Diseño

4.2.1 Simulación del proceso actual y esperado

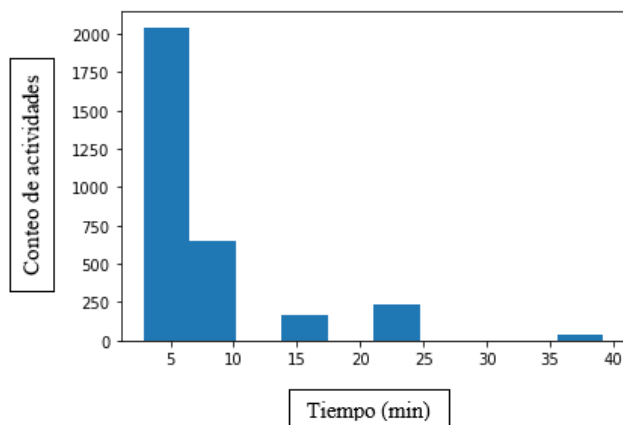
Proceso actual. Con las operaciones establecidas del proceso de extrusión, se procede a realizar la simulación para diagnosticar el estado del proceso utilizando el modelo determinístico. En el Anexo B se muestra el detalle de la simulación realizada.

Según la simulación efectuada se ejecutan más de 2000 réplicas considerando el tiempo máximo de producción diarios de 1440 minutos.

La Figura 12 representa el histograma del proceso actual, en este se puede observar como la mayoría de los tiempos se centran en un rango de 5 a 10 minutos, algunos otros en 15 y de 20 a 25 minutos y los considerados como valores atípicos entre 35 a 40 minutos. Además, el histograma ilustra datos asimétricos hacia la derecha, lo que significa que los datos pueden no estar distribuidos normalmente.

Figura 12

Histograma proceso actual.

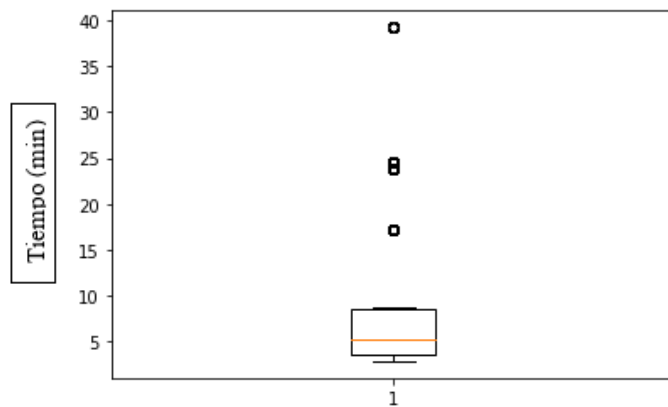


Fuente: Python (2022).

Otro gráfico considerado en el análisis es el de cajas representado en la Figura 13. Este gráfico muestra que la mayoría de los datos se concentra en el rango de 5 a 10 minutos y los datos atípicos están por encima de 25 minutos. Por otro lado, los bigotes de la caja que representan el 25 % de los valores superiores y el otro 25 % de los valores inferiores no se extienden a los lados de la caja, sino que se acercan a la caja de rango intercuartil.

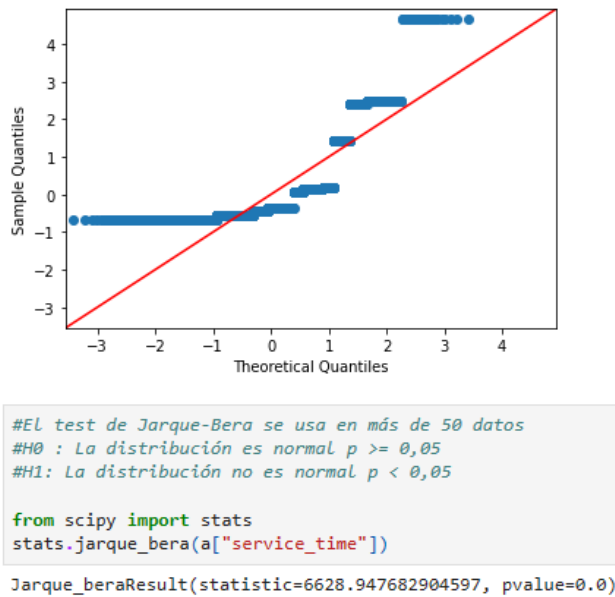
Figura 13

Gráfico de cajas del proceso actual



Fuente: Python (2022).

En la Figura 14 se analiza la distribución de los datos mediante una prueba de Jarque-Bera para conocer si estos se comportan como una distribución normal. El resultado que arroja la prueba es de 6628,947 con un p-value de 0,0 y dado que el valor de p-value es menor que 0,05 se considera que hay evidencia suficiente para decir que estos datos son significativamente diferentes de una distribución normal.

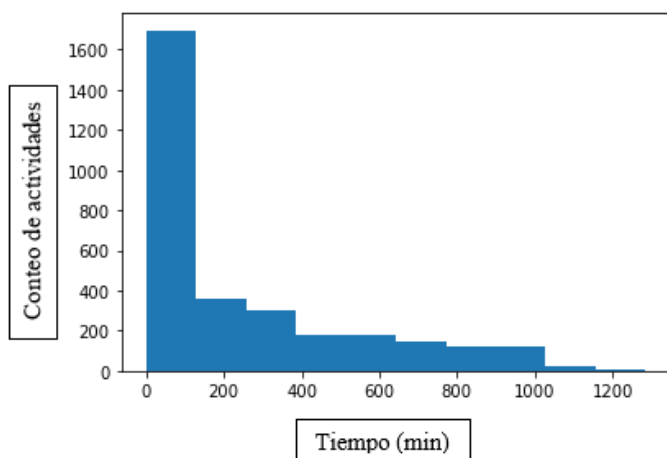
Figura 14*Prueba de Jarque-Bera*

Fuente: Python (2022).

La Figura 15 representa el histograma de las esperas del proceso actual, en este se puede observar como la frecuencia esta mayormente situada de 0 a 100 minutos y los otros datos se distribuyen a lo largo del eje. Además, el histograma ilustra datos asimétricos hacia la derecha, lo que significa que los datos pueden no estar distribuidos normalmente.

Figura 15

Histograma de las esperas del proceso actual.



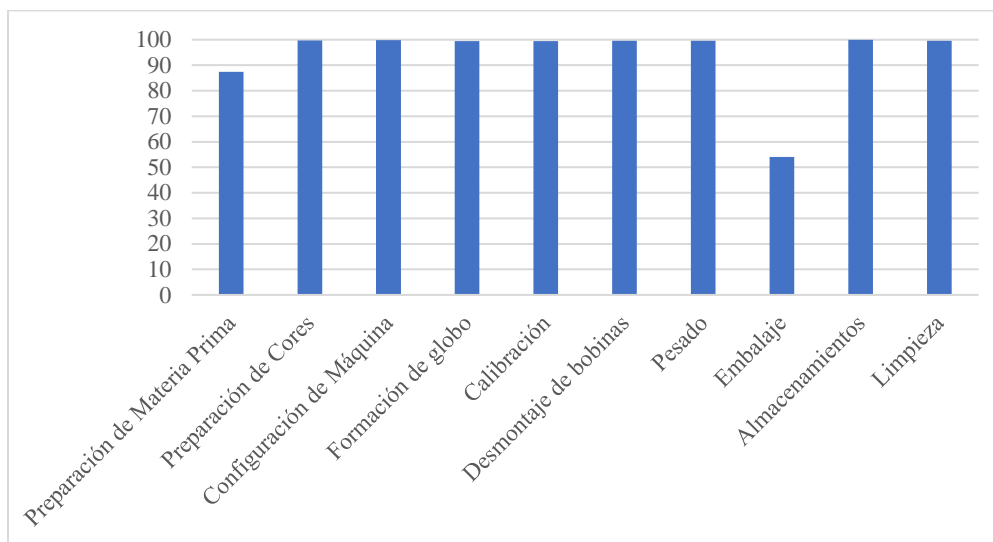
Fuente: Python (2022).

Con respecto a los tiempos la duración promedio de las actividades es de 7,6 minutos y la duración promedio de las esperas es de 230,9 minutos. Es decir, la duración total de un ciclo es de 314,5 minutos.

La Figura 16 muestra la ocupación porcentual de los recursos en el proceso, donde en promedio 9 de las 11 actividades tienen una ocupación casi al 100 % y el recurso menos utilizado es el embalaje con un 57 %.

Figura 16

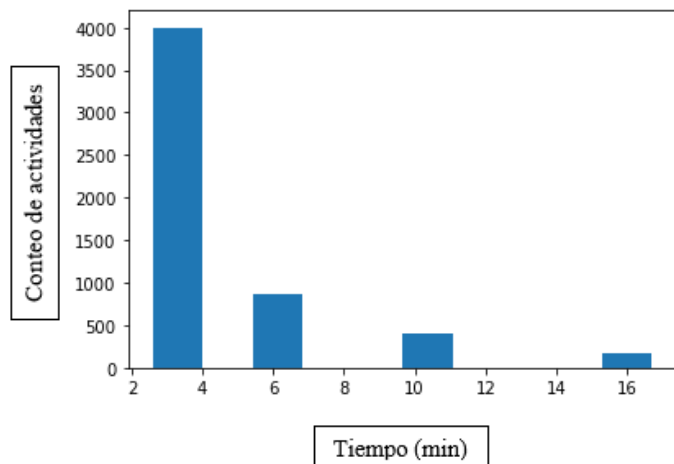
Utilización de los recursos del proceso actual.



Una vez obtenido los resultados, se simulan los cambios objetivos sobre el proceso, donde se pretende obtener con las propuestas planteadas un impacto mínimo de un 30 %.

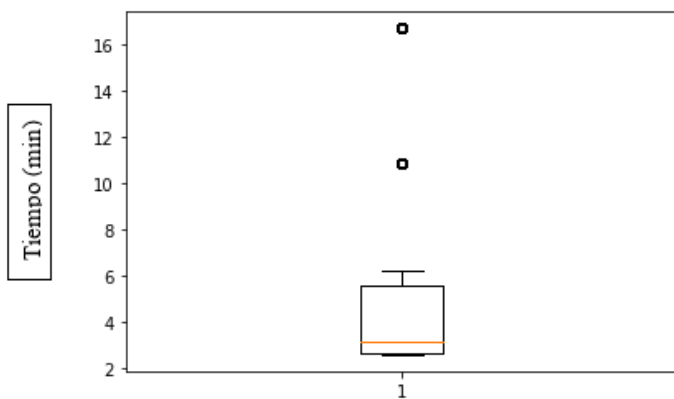
Proceso esperado. Mediante la simulación se implementan las mejoras planteadas en cada una de las actividades, obteniendo una reducción significativa en el tiempo medio de proceso, pasando de 7,6 a 4,4 minutos, con una reducción de 3,2 minutos. En el Anexo C se muestra el detalle de la simulación realizada.

También, se puede observar este comportamiento en la Figura 17 del histograma, donde la gran mayoría de datos se agrupa en el rango de 2 a 4 minutos y muy pocos en 6, 10 y 16 minutos.

Figura 17*Histograma del proceso esperado.*

Fuente: Python (2022).

A través de la gráfica de cajas en la Figura 18 se logra comprender como la mayoría de los datos se acumula entre 3 y 6 minutos y algunos valores atípicos se muestra en 11 y 16 minutos.

Figura 18*Gráfico de cajas del proceso esperado.*

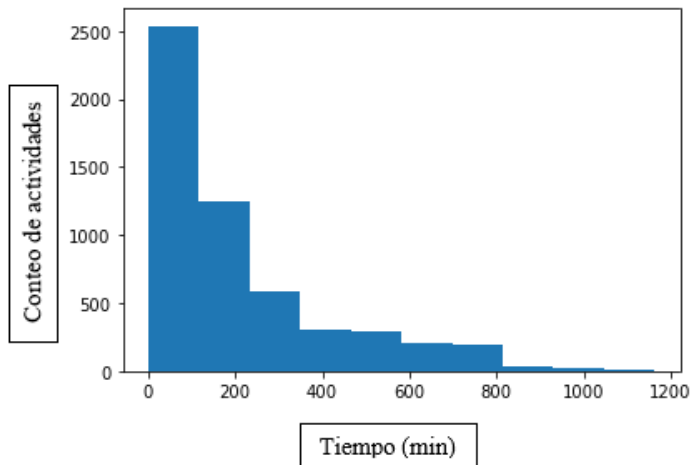
Fuente: Python (2022).

A diferencia del proceso, se encuentra que las esperas en su mayoría se centran en el rango de tiempo más bajo, es decir de 0 a 300 minutos, sin embargo, se observa que hay un incremento

hacia tiempos cada vez más altos. Según la simulación efectuada la mejora del tiempo de las esperas es de 230,9 a 198,8 minutos, disminuyendo aproximadamente 32,1 minutos. Los resultados obtenidos se observan en la Figura 19.

Figura 19

Histograma de las esperas del proceso esperado.



Fuente: Python (2022).

Dados los resultados de tal simulación, se toma la decisión de enfocar esfuerzos en mejorar el tiempo de las actividades que a su vez impactara positivamente sobre las esperas .

4.2.2 Análisis de MUDAS

Con el estudio, descripción del proceso y visitas de campo se logra interpretar que existen diferentes desperdicios en el proceso que deben ser identificados y evaluados con el propósito de reducirse.

En la Tabla 14 se muestran los resultados de una valoración cuantitativa realizada para conocer el impacto de la presencia de desperdicios por cada una de las operaciones. La matriz de evaluación se muestra en el Anexo D.

Tabla 15

Resultados de análisis de desperdicios por operación.

Operación MUDA	Solicitud de Materia Prima	Preparación de Resina	Preparación de Cores	Configuración de Máquina	Formación de globo	Calibración	Desmontaje de bobinas	Pesado	Embalaje	Almacena mientos	Limpieza
Sobreproducción	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Espera	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Transporte	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Movimientos	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sobre proceso	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Inventario	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Producto Defectuoso	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Escala	● 80% -100%		● 55% -75%		● 30% -50%		● 0% -20%				

En la Tabla 15 se describen y explican en cada caso los desperdicios de mayor impacto, color amarillo y rojo, hallados en las operaciones del proceso de extrusión.

Tabla 16

Identificación de desperdicios proceso de Extrusión.

Tipo de MUDA		MUDA Identificada	Situación actual
M1	Sobre producción	Refill	La orden de producción indica las características y dimensiones que debe de tener la lámina terminada, sin embargo, los operarios suelen colocarle aproximadamente 20 mm más al ancho de la película.
M2	Espera	Materia prima-resinas atrasadas.	Las materias primas no están listas cuando se requiere iniciar o preparar para la siguiente producción. Muchas veces el operario de extrusión debe ir a buscarlas para que no se pare la máquina o atrase con el tiempo de producción.
		Pocos Estañones	El operario debe esperar a que se consuma algún tipo de resina o desechar la resina en la tanqueta para desocupar un estañón.
		Configuración orden nueva	Antes de cambiar la configuración para una nueva orden el operario debe asegurarse de haber terminado toda la producción. Muchas veces no están los mismos operarios y le asignan alguien de otra operación lo que retrasa la máquina para hacer este cambio porque se debe de marcar con empalme la bobina y prepara los cambios de Core, y esto lo hace el segundo operario mientras el primero paralelamente configura.
		Dos operarios	El proceso de formación del globo es complejo y debe ser realizado por dos operarios debido a su nivel de dificultad, si alguno se atrasa, el otro debe esperarlo para poder iniciar; si lo hace solo, hay riesgos de incrementar demasiado el desperdicio.
		Paradas no planificadas	Los dispositivos directos para la formación del globo no pueden fallar si no debe detenerse todo el proceso, y muchos de ellos tienden a fallar muy seguido en sitio.
M3	Transporte	Tarimas de materia prima alejadas	Cuando el montacarguista entrega las tarimas con materia prima no las ordena conforme al consumo, sino que las coloca donde haya espacio, debido a que hay en cola más tarimas que no se produjeron, lo que genera que el operario tenga que ir a mover las tarimas después para acercarlas al área que las necesita o caminar más para traer el material.

Tabla 15. (continuación)

Tipo de MUDA		MUDA Identificada	Situación actual
		Corte de Cores	Un operario recorre 186 metros en total cada vez que inicia una orden nueva para cortar sus propios Cores, ya que no se les entregan preparados con el resto de los materiales.
		Formación de globo	La distancia total solo de subir a la cúspide la extrusora es de 36.78 metros y en este proceso normalmente el mismo operario tiene que subir dos veces lo que genera un recorrido total de 147 metros.
		Entrega de bobinas terminadas	Actualmente el montacarguista no recoge las tarimas de producto terminado que sale de extrusión, por lo cual el operario debe entregarlas al almacén en un recorrido total de 478 metros. En promedio cada tarima pesa 400 kilos.
M4	Movimientos	Preparación de resinas	Un traslado genera mayor movimiento. Las herramientas para abrir los sacos, anotar el tipo de resina en los estañones no está cerca ni ordenado en el centro de trabajo y genera que tenga que devolverse varias veces por diferentes herramientas que se usan juntas.
		Formación del globo	Las herramientas no están ordenadas ni en un mismo lugar. La operación es hecha distinta entre operarios, así que se generan diferentes movimientos entre ellos.
		Búsqueda de herramientas	No están ordenadas ni en un mismo lugar, o son guardadas en lugares inapropiados.
M5	Sobre proceso	Programa de producción perdido	Al controlarse el programa de forma física, los supervisores tienden a guardarlo en diferentes lugares haciendo que se pierda de un turno a otro lo que genera que el supervisor tenga que buscarlo o volverlo a imprimir y nuevamente revisar lo finalizado del turno anterior.
		Reimpresión de ordenes	La ordenes de producción son entregadas físicamente a los operarios, no tienen una carpeta formal identificable o lugar.
		Reordenamiento de resinas	Asignación de resinas en tolvas, estañones y mangueras con criterios distintos entre operarios genera reordenamiento de resinas entre turnos.
		Estañones en malas condiciones	Cambio de resinas o uso de estañones más pequeños con poca capacidad porque los estaños de metal están en malas condiciones, generan residuos metálicos que se mezclan con las resinas y son llevados a los cañones y provocan problemas en la máquina y lámina.

Tabla 15. (continuación)

Tipo de MUDA		MUDA Identificada	Situación actual
		Falta de especificaciones	Cambios de condiciones de la máquina entre turnos por criterio empírico del operario.
		Formación de globo	No hay una estandarización de las mejores técnicas o procedimientos para hacer esta tarea, el operario debe ser muy rápido para subir en cuestión de segundos a la cúspide y debe tener técnica para ayudar a jalar la lámina, quitar las burbujas y colaborar con la formación del globo en algunos casos lo revienta o desenhebra y todo debe volver a iniciar. Esta operación es valorada como tediosa.
M6	Exceso de Inventario	Ordenes detenidas	Existe un inventario de materia prima de ordenes que no se produjeron según el programa de planificación, y no se devuelven al almacén y quedan acumuladas contiguo a la máquina.
		Tanqueta de sobrantes de resinas	Contiguo a la máquina hay colocada una tanqueta donde colocan los “poquitos” de resina que sobran algunas producciones. Esta mezcla de material es usada para hacer cambios sin embargo no hay una administración ni política de control acerca de esto.
		Restos de resina no devueltas	Los operarios deben de devolver los restos de resina al almacén para que este lo pueda reincorporar y aprovechar en otra orden, sin embargo, no lo hacen y lo acumulan.
		Bobinas de producto rechazado o pruebas de ingeniería	Las bobinas permanecen por más de una semana acumuladas y sin una debida identificación o etiqueta de material rechazado o prueba.
M7	Defectos	Resinas sin identificación	Los sacos de resinas son identificados en la bodega por tarima total y no por saco, por lo cual cuando las resinas llegan a extrusión el operario las recibe verificado el grado del proveedor y no el código interno.
		Configuración de condiciones	Las condiciones y especificaciones para correr una orden no están indicadas completamente en las ordenes ni en ningún otro lugar lo que deja a la libre para que el operario simplemente lo haga posible dejando la posibilidad de generar defectos o producto fuera de especificaciones.
		Bobinas terminadas	La orden de producción no indica condiciones generales que debe tener la bobina. Calidad no revisa condiciones finales de las bobinas.

Tabla 17

Análisis del diagrama actual VSM.

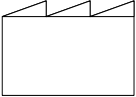
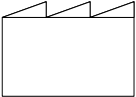
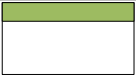
Componente	Figura	Descripción	Propuesta	Descripción
Cliente		<p>Planeación: Indica mediante un MRP cual es la fecha promesa y cantidad solicitada de producto terminado.</p> <p>Almacén: Actualiza la información del inventario diario, para que el planificador pueda consultar y saber cuánto tiene disponible y cuánto debe producir según la demanda.</p>		
Proveedor		<p>Almacén: Suple el proceso de extrusión con las materias primas necesarias (Resinas, pigmentos, aditivos y Cores).</p>		
Control de producción		<p>Planificador: Diseña dos programas de producción por semana que son entregados a los supervisores y jefes de producción de forma digital.</p> <p>Supervisores: Entregan a los operarios de extrusión los programas y ordenes de trabajo físicos, luego coordinan con todos los involucrados para cumplir el programa.</p>		

Tabla 16. (continuación)



Componente	Figura	Descripción	Propuesta	Descripción
Tipo de Información		<p>Electrónica: La información entre Clientes-Planificador-Proveedor viaja de forma electrónica mediante un sistema, correo electrónico y carpeta compartida utilizadas en la corporación.</p> <p>Manual: Los supervisores entregan a los operarios de extrusión documentos físicos: Plan de producción, ordenes de trabajo y pruebas de desarrollo.</p>	Documentación digital	Esto generaría reducción de papel y grapas, mayor orden del área de trabajo y coordinación entre turnos.
Medios de transporte		<p>Proveedor: El almacén entrega la materia prima mediante un montacargas y también recoge el desperdicio del proceso al final del día.</p> <p>Proceso de extrusión: Los operarios entregan el producto terminado al almacén por medio de una carretilla.</p>	Exceso de transporte	Se considera necesario disminuir el proceso manual del transporte de bobinas terminadas. Esta operación implica recorrer 478 metros en aproximadamente 17 min por cada tarima.

Tabla 16. (continuación)

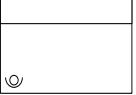
Componente	Figura	Descripción	Propuesta	Descripción
Operaciones		<p>El proceso de extrusión esta dividido en 11 operaciones de principio a fin, realizadas por 2 operarios por turno. La operación cuello de botella es la Formación del Globo con un tiempo promedio de 24 minutos.</p>	<p>1) Implementación 5S. 2) Diseño de una estrategia para coordinación de órdenes. 3) Eliminar operación. 4) Análisis SMED.</p>	<p>1) Las mejoras inician por el orden, aseo y seguridad del área trabajo. 2) El método de trabajo no ha sido analizado, por lo cual no hay una estandarización y hoy en día está en manos de los operarios. 3) Lo cores son también una materia prima que debe venir con el resto de los materiales de la orden. 4) La reducción de tiempos de cambio genera disminución de desperdicios.</p>
Tabla de datos	<p>Seleccione una forma y escriba texto. El controlador amarillo ajusta el interlineado.</p>	<p>TC: Tiempo de ciclo por operación. NP: Número de personas necesarias por operación. EN: Tiempo disponible para trabajar en minutos por día. G: Porcentaje de tiempo utilización de la máquina. Turnos trabajados.</p>		

Tabla 16. (continuación)





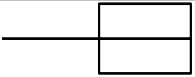
Componente	Figura	Descripción	Propuesta	Descripción
Inventarios		<p>Ordenes detenidas: Materia prima acumulada por no ser extruida.</p> <p>Diario: La materia prima es entregada diariamente al proceso y ordenada en tarimas.</p> <p>Constante: Existe una tanqueta que almacena constantemente restos de materias primas vírgenes para “reutilizarse” en purgas.</p> <p>Por orden: Los cores son almacenados por orden a un costado de la máquina embobinadora.</p> <p>Bobinas por orden: Las bobinas de producto terminado se almacenan hasta finalizar la orden y luego se trasladan al almacén. Sin embargo, algunas pruebas quedan acumuladas por varias semanas.</p> <p>Por turno: El desperdicio se controla por turno y no por orden.</p>	<p>1) Control de inventarios.</p> <p>2) Identificación de estado de bobinas.</p>	<p>1) Es necesario validar la causa raíz de las ordenes detenidas en el programa.</p> <p>Asimismo, debe cuestionarse la existencia de un inventario constante de desperdicios de materia prima.</p> <p>2) Debe existir un control de estado de las bobinas que permita tomar decisiones y disminuir el inventario en planta.</p>

Tabla 16. (continuación)

Componente	Figura	Descripción	Propuesta	Descripción
Flecha de empuje		El avance entre operaciones es realizado mediante la estrategia de empuje.	Sistema FIFO (First in, First out)	Cambiar el sistema de avance entre algunas operaciones de manera que permita un mejor flujo de unidades y control de inventarios en proceso.
Flecha de envío		Almacén: Departe del almacén se envía la materia prima a extrusión. Proceso extrusión: Extrusión envía bobinas terminadas y el desperdicio.		
Segmento de escala de tiempo		Días de almacenaje de inventario y tiempo por operación en minutos.		
Escala de tiempo total		Tiempo de entrega a producción es de 204 min (3,4 horas) y el tiempo total de procesamiento 146,8 minutos totales.		

Entre los datos medibles que permite observar del VSM se muestran en la siguiente Tabla 17.

Tabla 18

Datos del VSM.

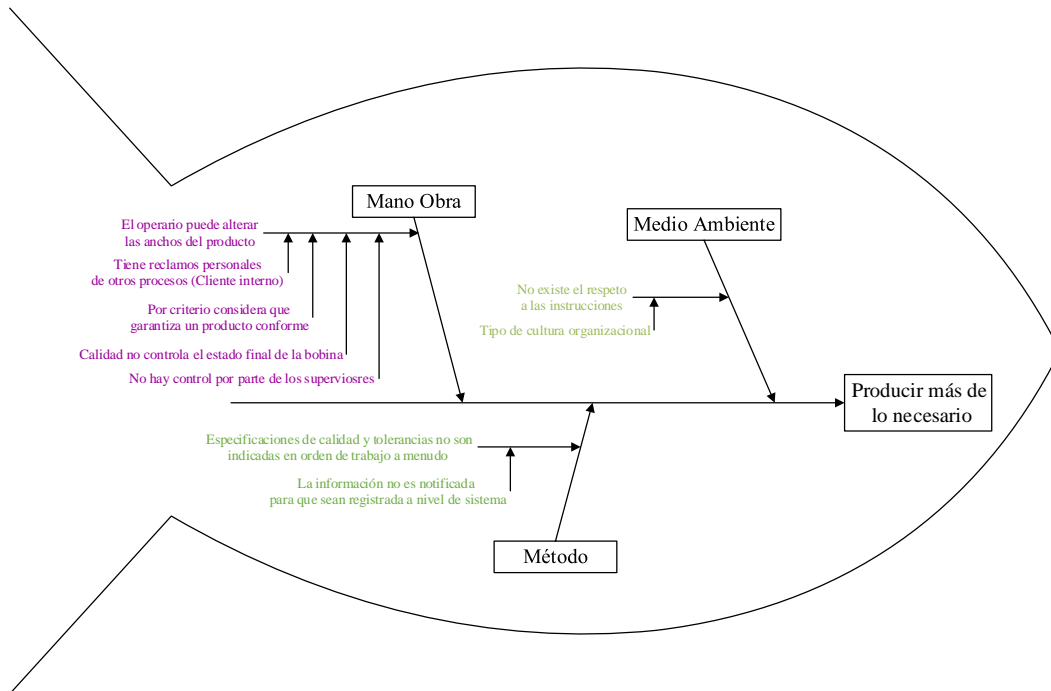
	Tiempo de entrega	Tiempo de Ciclo	Personal	Disponibilidad	Takt Time
Actual	57 min	146,7 min	2	68 %	180 kg/hora
Objetivo	40 min	72 min	2	88 %	234 kg/hora

4.2.4 Identificación de causas

De acuerdo con los desperdicios identificados anteriormente, en esta sección se desarrollan diagramas de Ishikawa para cada uno de los tipos de desperdicios, asimismo, dentro de cada uno ellos se analizan las mudas identificadas en el proceso de extrusión.

Figura 21

Diagrama de Ishikawa: MUDA Sobreproducción.



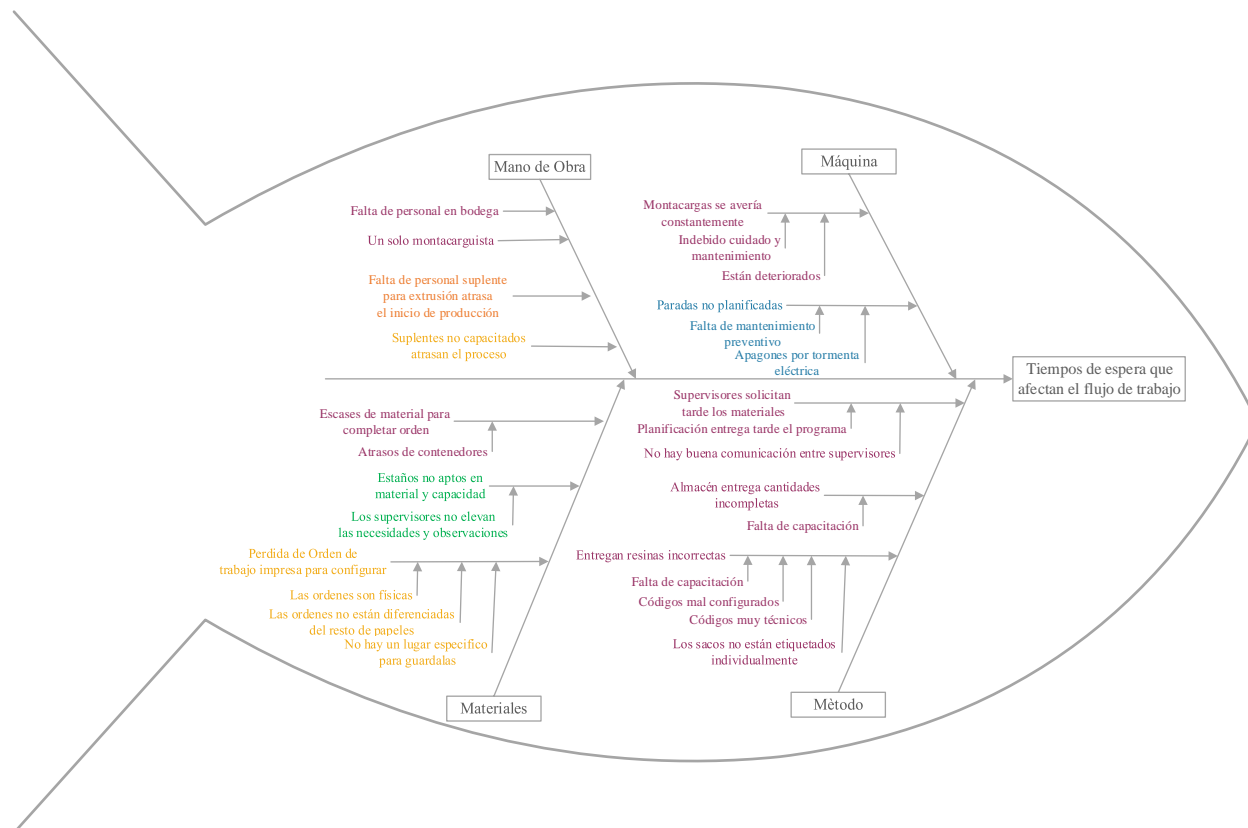
El desperdicio de sobreproducción está asociado al refill que los operarios adicionan al ancho solicitado en la orden de producción. El refill funciona de la siguiente manera, al cliente final solicita un ancho, por lo cual cuando este producto es diseñado, ingeniería considera el refill adecuado que debe llevar el producto, sin embargo, se ha detectado que los operarios de extrusión alteran el ancho por diferentes subcausas, considerando como causa potencial, reclamos del cliente interno y la ausencia de las especificaciones. Con respecto a las demás causas, asociadas con la mano de obra, el operario no altera el ancho por decisión propia, esto fue corroborado en sitio durante un lapso de 5 días y se demostró lo planteado.

Calidad no controla el estado final de la bobina, esta causa realmente está ligada a la falta de especificaciones y en las ordenes de trabajo, ya que calidad no puede controlar o medir algo si no existe una referencia de aceptación o rechazo.

Las causas asociadas al medio ambiente, no se seleccionan como potenciales debidos que los operarios si respetan las dimensiones y como antes es indicado si estas son alteradas son por razones ajenas a esta.

Figura 22

Diagrama de Ishikawa: *MUDA Esperas*.



Las causas relacionadas a la mano de obra son cinco: falta de personal en bodega y un solo montacarguista, estas dos causas se relacionan con el atraso de materias primas, sin embargo, existe evidencia que hay suficiente personal en bodega para preparar los pedidos con antelación, el montacarguista tiene la capacidad suficiente para abastecer extrusión con la materia prima en el tiempo oportuno. La falta de personal suplente y suplentes no capacitados atrasan el proceso, es considerado causa potencial, porque para el inicio de una producción debe estar presentes los dos operarios, ya que el proceso de formación de globo es considerado como tedioso, no obstante,

producción ha intentado suplir esta necesidad, pero han optado por colocar operarios sin una capacitación adecuada previa lo que genera también atrasos por la falta de práctica.

Con respecto a la máquina, se evidencia que no es frecuente que el montacargas se averíe, además existe otro más que lo podría reemplazar si fuera el caso. Las paradas no planificadas son consideradas una causa potencial debido a que el plan de mantenimiento no es realizado en los tiempos establecidos.

Con lo que respecta a los materiales, escases de materias primas para completar la orden no afecta con esperas al proceso, ya que, si esto ocurre, planificación se comunica con los involucrados para ampliar la fecha de entrega hasta que llegue el material o cambiar el tipo de polietileno y evitar lo anterior.

Otro material mencionado son los estañones no aptos en composición y capacidad; causa considerada como potencial. Los operarios utilizan estañones para contener las resinas, en estos colocan las mangueras para que succionen los materiales. Algunos de ellos se encuentran en malas condiciones, con desprendimiento de residuos que provocan suciedad en los cañones y defectos en la película, también la variación de capacidad es un problema, hay formulaciones que consumen más de un componente que otro. Para estos casos, esos componentes deben ser colocados en estañones de gran capacidad para evitar el desabastecimiento repentino, lo anterior descrito genera que en ciertos casos los operarios deben esperar a que la producción total finalice para disponer de algún otro estañón y así colocar la nueva resina que solicita la fórmula de la siguiente orden.

En materiales, la pérdida de orden de trabajo impresa para configurar en el subproceso de configuración de máquina, los operarios necesitan la orden de trabajo para saber cuál es la fórmula que lleva el polietileno para digitarla en el sistema de la extrusora, no obstante, muchas veces estas

son tomadas por alguno de los supervisores u operarios y las pierden creando una espera innecesaria en el proceso.

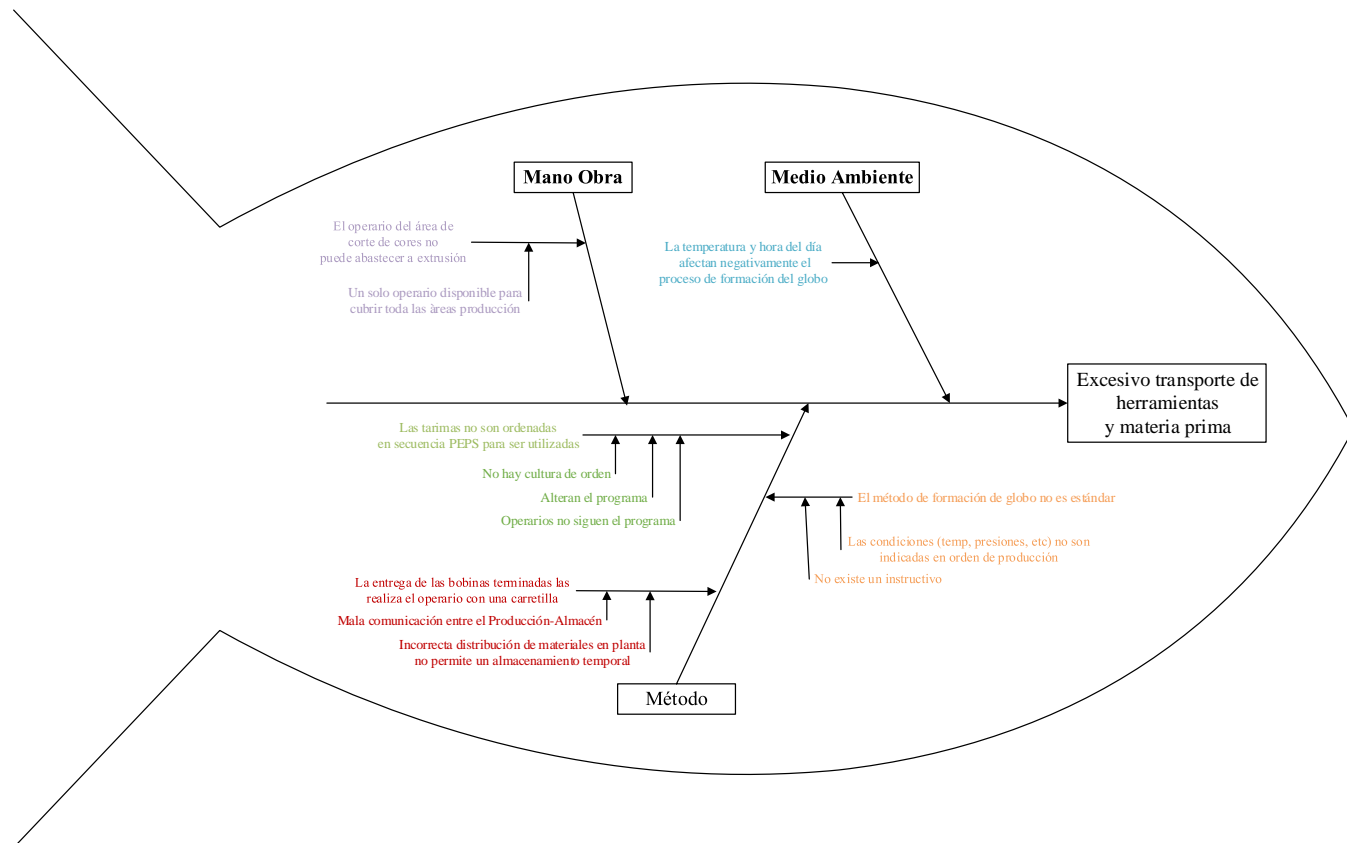
En el método, se hallan tres causas primarias: supervisores solicitan tarde los materiales, almacén entrega cantidades incompletas y entregan resinas incorrectas. Se considera la primera causa potencial, debido a que la comunicación entre supervisores de ambos turnos no es la mejor, considerando que algunas veces usan el método del control del programa físico independiente.

Se evidencia que almacén entrega las cantidades respectivas a producción por orden.

Con lo que respecta a la entrega de resinas incorrectas, se debe a que los sacos no están etiquetados individualmente. Cuando la tarima de materia prima ingresa al almacén es etiquetada solo por fuera en el sobre empaque no por saco individual, permitiendo que el error pueda ocurrir en cualquier momento ante alguna emergencia o tarea diaria.

Figura 23

Diagrama de Ishikawa: MUDA Transporte.



La causa asociada a mano de obra es considerada causa potencial, debido a que el operario la mayoría de las veces debe ir a cortar sus cores, porque una sola persona es la que se encarga de abastecer el proceso de corte, conformado por cuatro máquinas cortadoras de producto terminado y el proceso de extrusión. Además, este proceso tiene como prioridad suplir el proceso de corte de producto terminado.

Se evidencia que con respecto al medio ambiente los operarios regulan las temperaturas de las entradas de aire, según el momento en el que se genere la formación del globo y durante el proceso, por lo que no es considerada causa potencial, no obstante, se considera realizar la observación y documentar tal práctica en un instructivo.

Con lo que respecta al método, las tarimas no son ordenadas en secuencia según el orden de consumo, esta causa se relaciona con la ausencia de orden en el lugar de trabajo, además de la existencia de inventarios innecesarios en proceso. La entrega de las bobinas terminadas es considerada causa potencial, porque las realiza el operario con una carretilla, se evidencia que existe una mala coordinación entre almacén y el proceso de extrusión, porque hay un montacarguista que da el servicio a producción del movimiento de producto terminado, sin embargo, con el proceso de extrusión este servicio no aplica. La incorrecta distribución de materiales en planta no permite un almacenamiento temporal, esta causa se vuelve a relacionar con la ausencia de orden en el lugar de trabajo, ya que existe espacio suficiente para almacenamiento temporal de producto terminado y en proceso.

Con respecto a la formación de globo es una de las causas que produce casi que todos los tipos de desperdicio, por lo que también se considera potencial debido a las tediosas tareas que conlleva este subproceso. El recorrido total hasta la cúspide es de 73,56 metros y en promedio deben subir dos veces cuando se está formando el globo, por lo que el recorrido total es de 147,12 metros, el detalle se muestra en la siguiente Tabla 18.

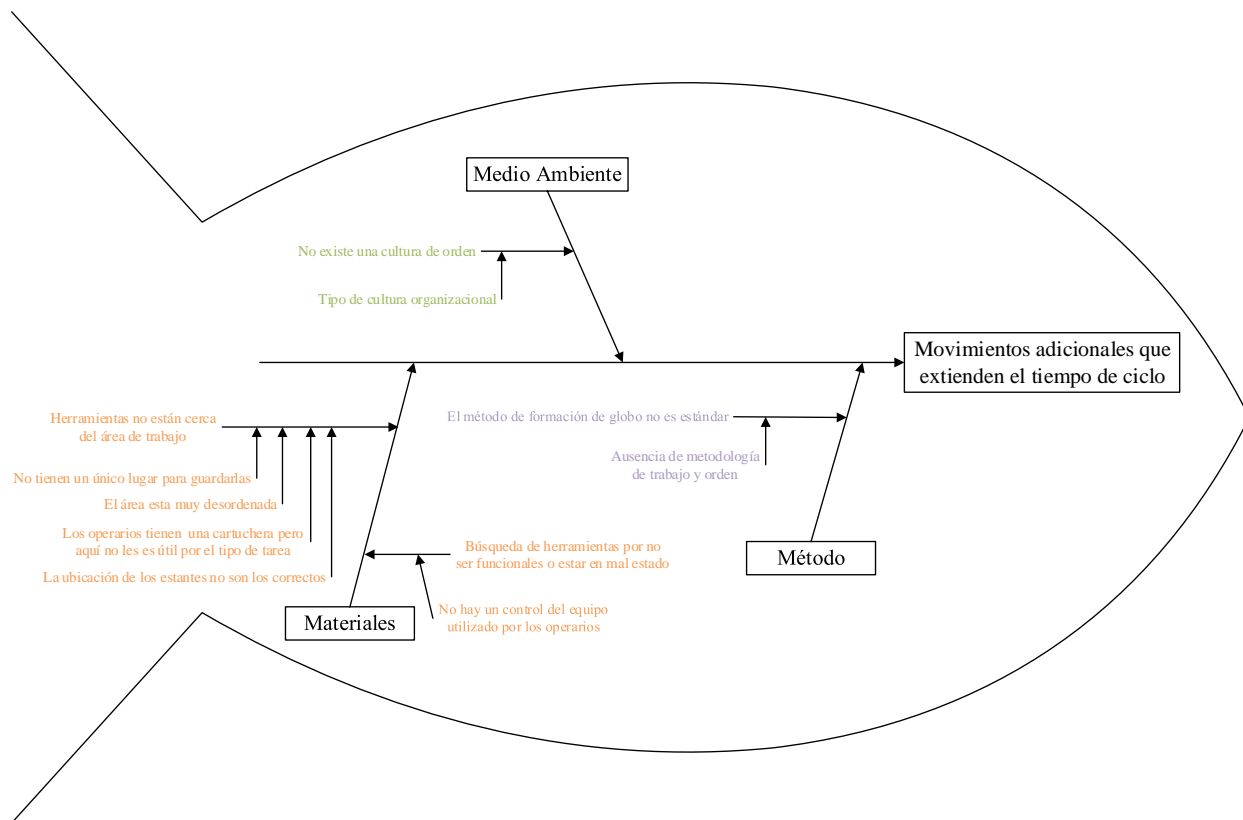
Tabla 19

Distancia recorrida en el subproceso Formación de globo.

Piso	Distancia (m)
1	12,26
2	12,26
3	12,26
Total	36,78
Total recorrido, ida y vuelta	73,56

Figura 24

Diagrama de Ishikawa: MUDA Movimientos.



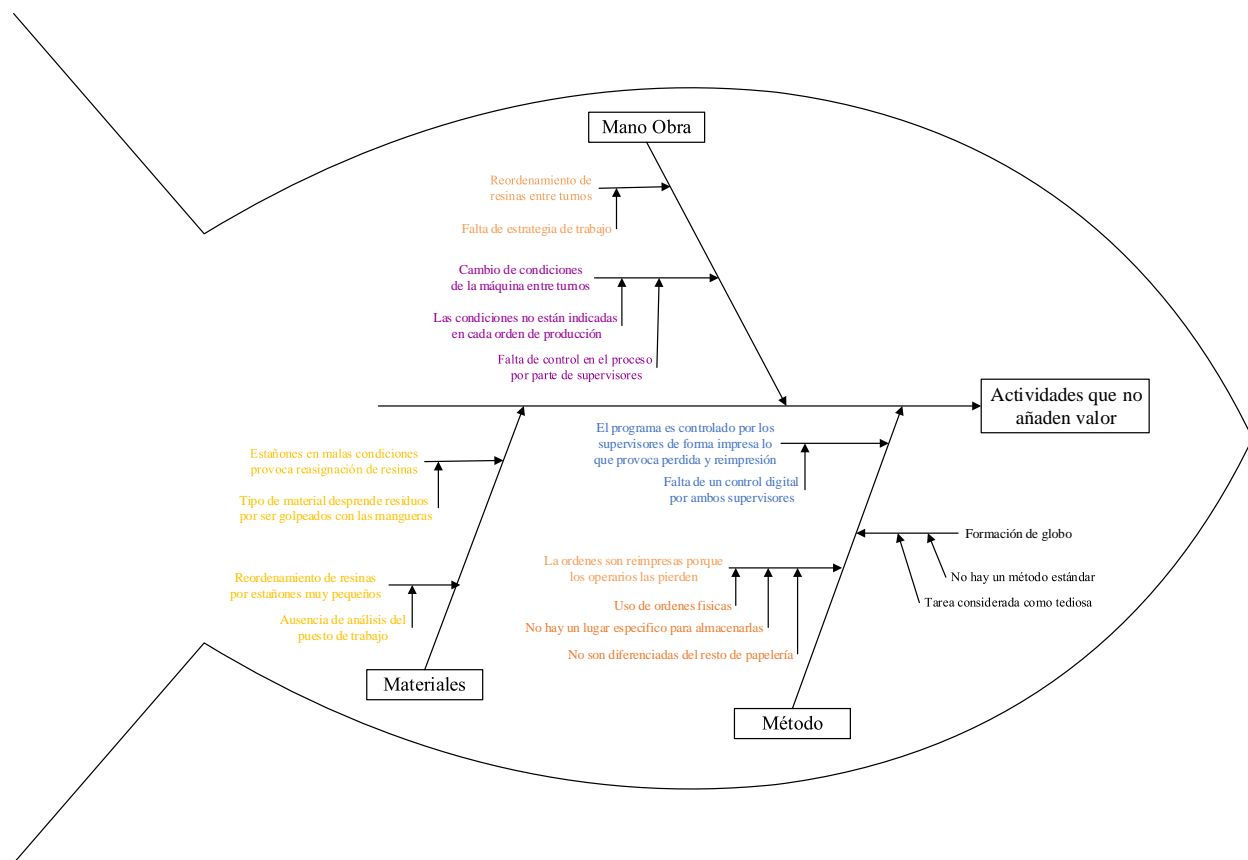
En el caso del medio ambiente, se identifica que el área de trabajo se encuentra muy desordenada, existen diferentes estantes para guardar herramientas y objetos innecesarios, por lo que se acredita esta causa a la cultura de la organización debido a que estos escenarios no solo son presentados en el área de extrusión.

Las causas materiales se consideran que son generadas por la misma ausencia de orden en el lugar de trabajo.

El subproceso de formación de globo, como fue mencionado anteriormente, presenta diferentes desperdicios y la técnica irregular utilizada entre operarios genera más movimientos por los diferentes lugares donde uno u otro guardan las herramientas, técnica de configuración y jale del material para evitar que se desenhebre, entre otros.

Figura 25

Diagrama de Ishikawa: MUDA Sobre procesos.



Las causas asociadas a la mano de obra y reordenamiento de resinas entre turnos se deben a la ausencia de método estándar para la formación de órdenes. Para la distribución de resinas en los estañones los operarios se basan en cuatro variables importantes para definir el orden de producción: apariencia si es transparente o blanco, fórmula, ancho y espesor. Sin embargo, se ha notado diferencias en la cantidad de kilos de merma reportados por operario, lo que nos lleva analizar que existe diferencia en la toma de decisiones entre operarios con las variables de ancho y espesor, considerando esta causa como potencial.

El cambio de condiciones de la máquina entre turnos se relaciona con dos causas: especificaciones no indicadas en la orden de trabajo y la falta de control por parte de los

supervisores. Las condiciones de máquina para producir un tipo de polietileno no vienen indicadas totalmente en la orden de trabajo, lo que le permite al operario producir a su criterio, pero el problema radica en que no todos los operarios de extrusión poseen el mismo criterio y aunque la película se encuentre conforme provoca que el operario del siguiente turno las altere. Se evidencia que la falta de control por parte los supervisores no es una causa potencial debido a que las condiciones no son indicadas en la orden y ellos se rigen por la conformidad de la película indicada por calidad.

Con respecto a los materiales, como ya había sido mencionado, los operarios utilizan estañones para contener las resinas que serán utilizadas en la producción y el problema de malas condiciones y variación de capacidad de estas genera que en ciertos casos los operarios deban de intercambiar resinas de un estañón a otro.

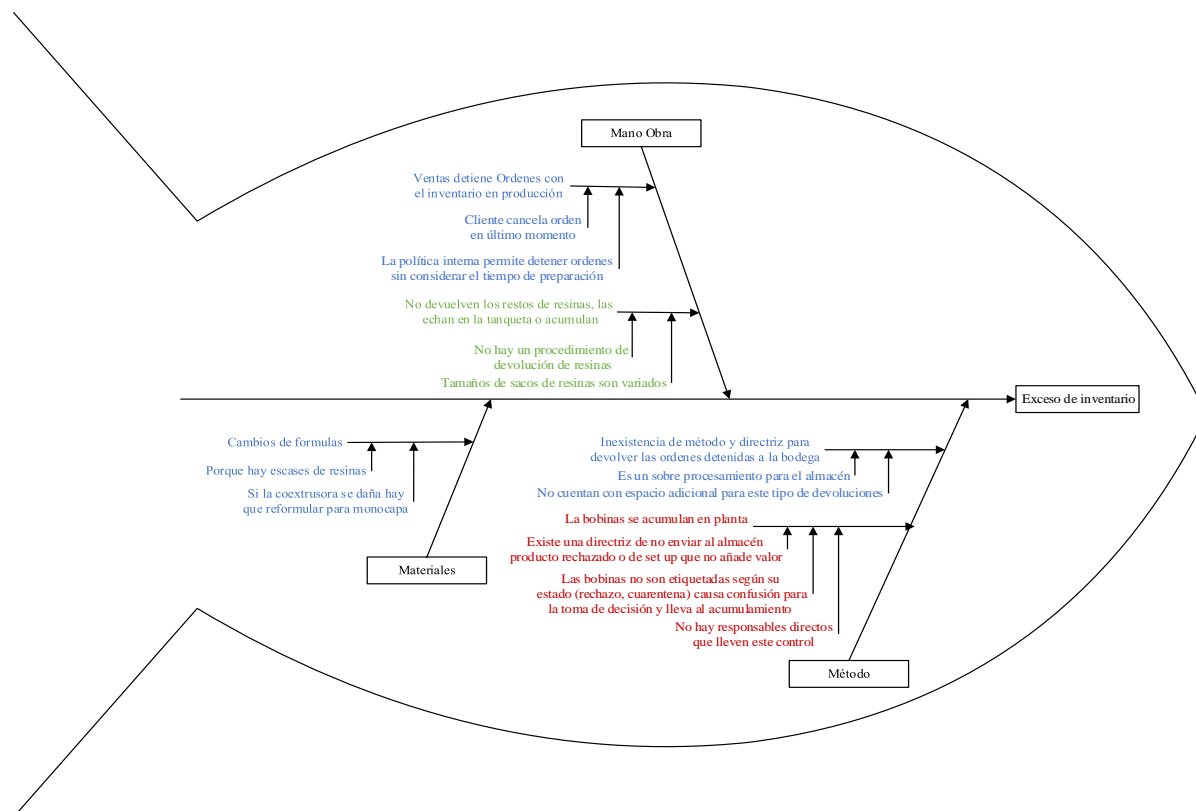
En lo que respecta al método, la primera causa es que el programa es controlado por los supervisores de forma impresa, segundo, las ordenes son reimpresas porque los operarios las pierden, y tercera, la formación del globo. Se encuentra que el uso de documentos físicos es la causa potencial. El programa de producción es compartido a los supervisores e ingenieros de turno de forma digital, pero estos han optado por controlarlo de forma impresa, sin compromiso entre turnos lo que genera perdida y reimpresión. Las ordenes de trabajo son administradas similar, los operarios no tienen acceso al sistema de la empresa, por esta razón los supervisores les imprimen las órdenes. Las ordenes de producto terminado son administradas de una forma distinta, con carpetas de color por estado de producción y son almacenadas en un lugar específico, a diferencia de las ordenes de extrusión que son hojas sueltas en manos de los operarios.

Nuevamente, la formación del globo aparece en este desperdicio y se debe a que esta tarea es considerada tediosa por causa de la rapidez y agilidad que debe tener el operario. La falta de un

método estandarizado provoca técnicas ineficientes induciendo algunas veces a que el globo explote, se desenhebre y tengan que volver a iniciar todo el proceso.

Figura 26

Diagrama de Ishikawa: MUDA Exceso de Inventarios.



Se adjudican dos causas asociadas a la mano de obra, primera, las ventas detienen ordenes con el inventario en producción y segunda, no devuelven los restos de resinas, las echan en una tanqueta o acumulan. Según la primera causa, el cliente puede cancelar una orden de producción llamando al vendedor respectivo. El vendedor se comunica con el encargado de elaborar el programa de producción de la extrusora para conocer el estatus de esta, de esta manera el jefe de producción en conjunto con el gerente de servicio al cliente toma la decisión de decirle al cliente si se puede o no cancelar la orden. Sin embargo, no considera el inventario que quedará en planta o el retrabajo de devolver los materiales a la bodega. Para la segunda causa, las ordenes no siempre

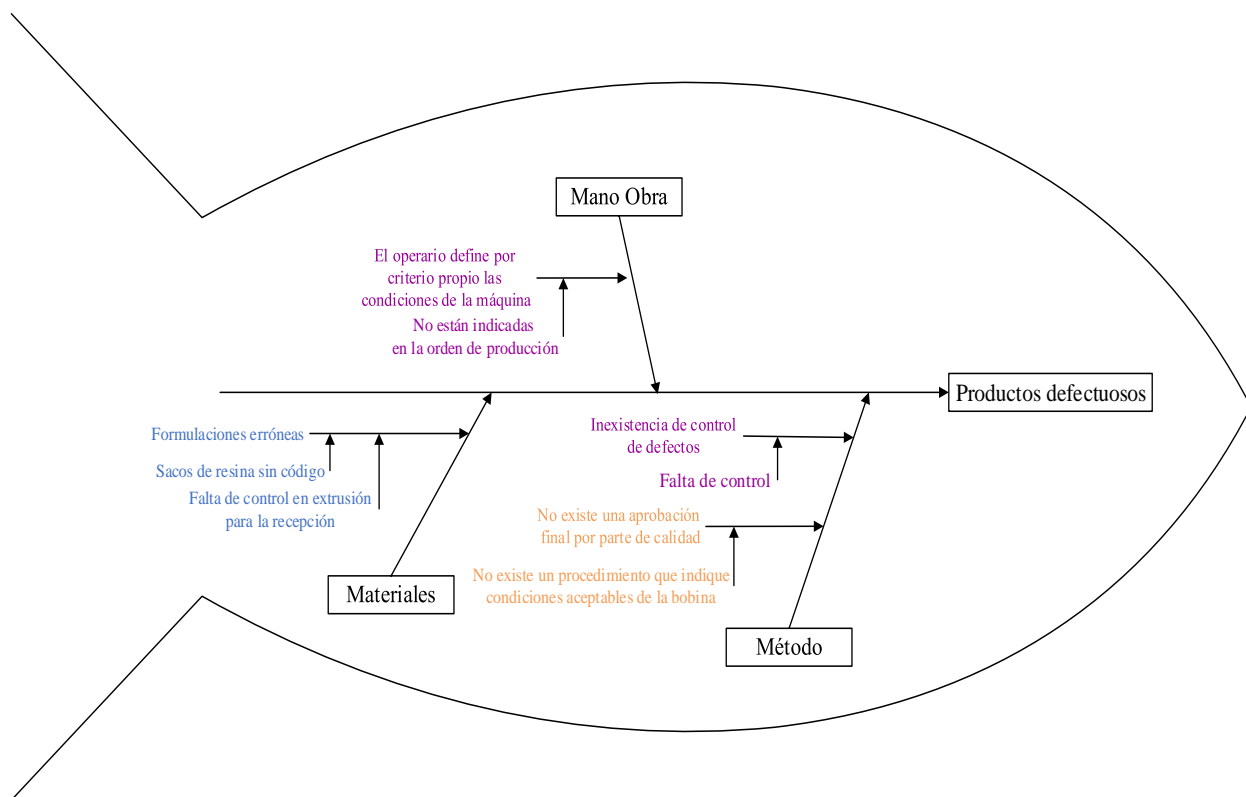
son preparadas en cantidades exactas debido al variado tamaño de sacos de resinas. No existe un procedimiento para devolver los restos de resinas al almacén solo sacos completos y cerrados, por esta razón se implementó la práctica de colocar una tanqueta (1,20 m x 1,20 m) para echar las resinas sobrantes y utilizarlas en los arranques o cambios. Esta tanqueta cubre un gran espacio de almacenamiento y no todo el tiempo esta tapada, lo que genera que se ensucie con polvo, basuras pequeñas o algún insecto, provocando mayor suciedad en los cañones.

Con lo que respecta a los cambios de fórmulas, se evidencia que planificación tiene una buena comunicación con el área de desarrollo por lo cual prevén escases de material, generando la reformulación de ordenes antes de que almacén prepare los componentes.

Tomando en cuenta las causas de método, se evidencia que la inexistencia de método y directriz para devolver las ordenes detenidas a la bodega en realidad no es una causa, ya que las ordenes no deberían de detenerse con el inventario entregado en extrusión para su posterior proceso. Se considera que de las causas potenciales relacionadas con las bobinas acumuladas en planta es la inexistencia de un control físico de bobinas por estado, una vez delimitado el estado se podrá almacenar de manera más controlada las bobinas y a su vez determinar los responsables de cada proceso relacionado.

Figura 27

Diagrama de Ishikawa: MUDA Defectos.



Sobre las causas asociadas a la mano de obra, el operario define por criterio propio las condiciones de la máquina y el operario por experiencia define los defectos. Anteriormente este aspecto fue evaluado, sin embargo, desde esta perspectiva, el alterar las condiciones de la máquina podría generar cambios desfavorables o no considerados en las propiedades de la película.

Se determina que, con respecto a las formulaciones erróneas, la causa potencial son los sacos mal etiquetados, ya que el operario lee el código indicado en el saco contra lo especificado en la orden de trabajo.

Con lo que respecta a las causas relacionadas con los métodos, no existe un procedimiento que indique las condiciones aceptables de la bobina. Estas condiciones deberían de estar indicadas en la sección de calidad de cada una de las ordenes de trabajo con el fin de que se pueda validar la

bobina final con lo indicado. Adicionalmente, se detecta que no existe un control de defectos, esto genera desventajas para la mejora continua.

4.2.5 Definición de causas potenciales

Después de identificar las causas potenciales que provocan las mudas en el proceso de extrusión, en el siguiente cuadro, se detallan sus soluciones y el impacto directo y colateral sobre los desperdicios encontrados. En el Anexo E se encuentran los detalles de criterios de este apartado.

Tabla 20*Causas potenciales del desperdicio.*

Código	Causa Potencial	Contramida	Método	Impacto Directo	Impacto Colateral
A	Reclamos del cliente interno por anchos inadecuados.	Analizar las inconformidades que están teniendo los clientes internos con los anchos enviados.	Análisis de los procesos implicados y entrevista con expertos de cada proceso afectado.	Sobreproducción	
B	Especificaciones no son indicadas en orden de trabajo	Registrar las condiciones y tolerancias óptimas en cada orden de producción de lámina de polietileno.	Incorporar en el sistema de la empresa las condiciones y tolerancias definidas por el Ingeniero de Polietilenos.	Sobreproducción, Sobre proceso	
C	Solicitan los materiales tarde.	Mejorar el control del programa de producción y administración de la ordenes realizadas entre supervisores y operarios.	Kanban en el área de extrusión para el control visual de las ordenes en proceso.	Espera	Transporte, Movimiento, Inventario
D	Sacos sin etiqueta o mal etiquetados.	Sacos de resinas deben ser etiquetados individualmente. Operarios deben aprender a leer códigos de materia prima.	Analizar el proceso de recepción y etiquetado de materias primas en el almacén. Capacitar a los operarios de extrusión y almacén para la lectura de códigos e importancia de estos.	Espera y Defecto	Transporte
E	Falta de personal suplente en extrusión.	Personal interdisciplinario para ambos turnos.	Programa de capacitación de operarios alternos en el área de extrusión.	Espera	

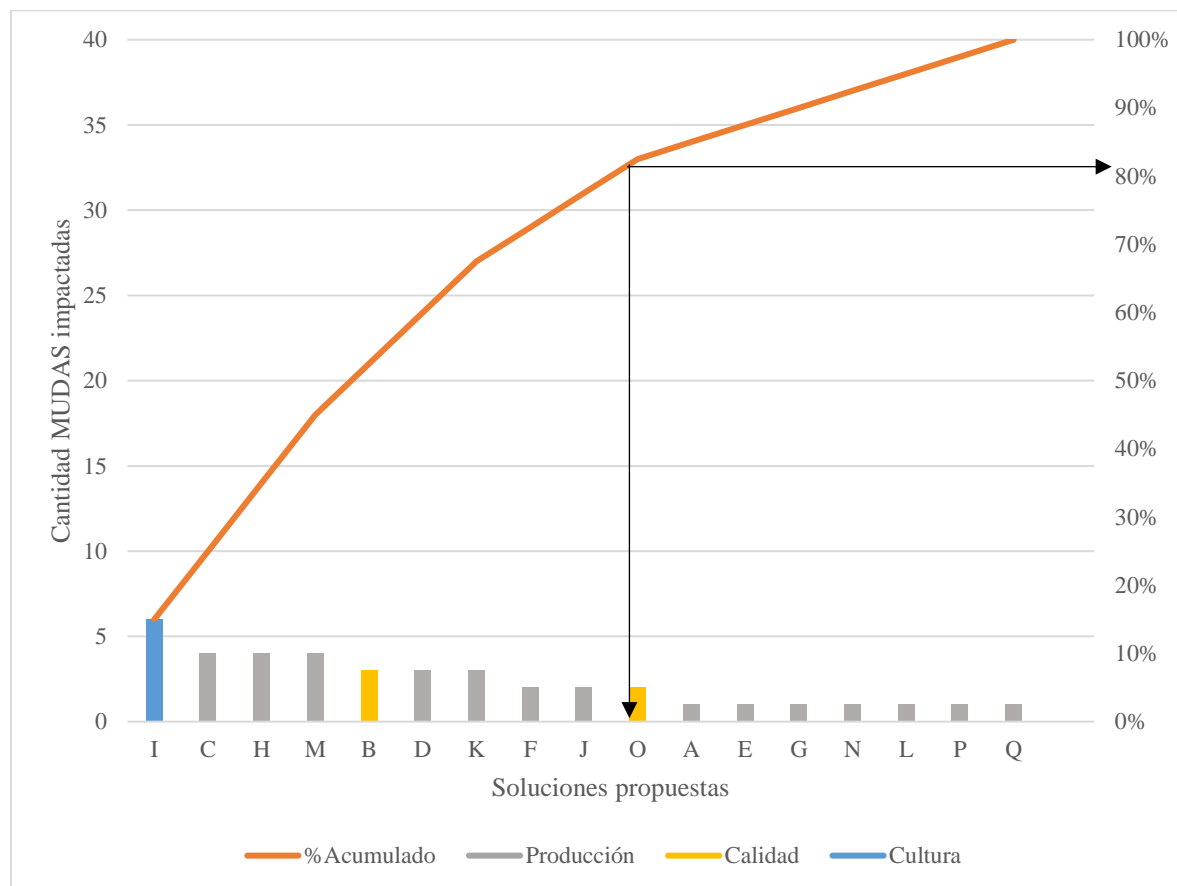
Tabla 19. (continuación)

Código	Causa Potencial	Contramedida	Método	Impacto Directo	Impacto Colateral
F	Estañones no aptos.	Definir el método, tipo y cantidad de estañones necesarios en el proceso.	Elaborar un análisis del método del uso de estañones para cada cambio de orden según la capacidad de la máquina.	Espera	Sobre proceso
G	El operario de corte de cores no puede abastecer extrusión.	Solicitar apoyo en el proceso de Cores.	Análisis de las operaciones y cargas de trabajo del área de cores.	Transporte	
H	Descoordinación entre extrusión y producción para el transporte de producto terminado.	Realizar una reunión entre ambas partes para definir las necesidades y así llegar a una solución.	Revisión del flujo del proceso y responsables de la coordinación y control.	Transporte	Espera, Movimientos, Inventario
I	Ausencia de orden en el lugar de trabajo.	Ordenar el área de trabajo y sus herramientas.	Capacitar e implementar la metodología de las 5S.	Movimientos, Transporte	Espera, Sobre proceso, Inventario y Defecto
J	Ausencia de método estándar para la producción de órdenes incrementa el tiempo de cambio.	Definir cuál es método más apropiado para producir las ordenes de producción.	Evaluación del proceso y variables.	Sobre proceso	Movimientos
K	Inexistencia de la valoración de una técnica estándar para la formación del globo.	Valorar las técnicas utilizadas entre operarios y definir la más eficiente y segura.	Realizar un análisis SMED del subproceso.	Transporte, Movimientos y Sobre proceso	

Tabla 19. (continuación)

Código	Causa Potencial	Contramida	Método	Impacto Directo	Impacto Colateral
M	Uso de órdenes y programas físicos.	Implementar un método para el uso de documentación digitales.	Definir el proceso para usar ordenes digitales y el costo y beneficio de la compra de una Tablet exclusiva para extrusión.	Espera y Sobre proceso	Transporte, Movimientos
N	Ventas detiene Ordenes con el inventario en producción.	Actualización de la política interna.	Evaluación del flujo de trabajo e impacto generado por la política actual.	Inventarios	
L	Retención de resinas sobrantes	Control de resinas sobrantes por orden.	Analizar y establecer el proceso óptimo para la entrega de resinas.	Inventarios	
O	Inexistencia de control físico de bobina por estado	Definir un control de etiquetado de bobinas según su estatus y un área de almacenamiento específico.	Etiquetas Kanban que permitan conocer el estado de una bobina terminada y sus responsables.	Inventarios	Defectos
P	Condiciones de la máquina y producto terminado no son indicadas en la orden de trabajo.	Registrar las condiciones en cada orden de producción de lámina de polietileno.	Registrar y documentar las condiciones idóneas para la producción de una bobina.	Defectos	
Q	Plan de mantenimiento preventivo no es cumplido.	Analizar las causas de los incumplimientos del plan de mantenimiento.	Replantear el plan de mantenimiento.	Espera	

Adicionalmente, se procede a realizar una gráfica de Pareto con los datos suministrados anteriormente, en la cual se pretende identificar las soluciones más relevantes en el proceso.

Figura 28*Pareto de causas potenciales.*

Según datos obtenidos en el gráfico anterior, el 20 % de las causas analizadas que tiene un impacto de un 80 % son:

- I: ausencia de orden en el lugar de trabajo.
- C: solicitud de materiales tarde.
- H: descoordinación entre extrusión y producción para el transporte de producto terminado.
- M: uso de órdenes y programas físicos.
- B: especificaciones de calidad y tolerancias no son indicados en orden de trabajo.
- D: sacos de materia prima sin etiqueta o mal etiquetados.
- K: inexistencia de la valoración de una técnica estándar para la formación del globo.

- F: estañones no aptos.
- J: ausencia de método estándar para la producción de órdenes incrementa el tiempo de cambio.
- O: inexistencia de control de bobinas por estatus.

En su mayoría estas causas están clasificadas hacia la mejora en la categoría de producción debido a su enfoque.

CAPITULO V
PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN

5.1 Descripción de propuestas

Actualmente el proceso de extrusión tiene un límite de desperdicio aceptado, sin embargo, este se ha sobrepasado con mayor frecuencia en los últimos meses. Con el análisis de causas realizado se propone implementar las siguientes herramientas y estrategias para disminuir y controlar el desperdicio y promover la mejora en otras áreas como calidad, cultura organizacional, seguridad, mejora del proceso entre otros.

5.1.1 5S

Con la aplicación de esta herramienta se pretende crear una cultura de limpieza que involucre a todas las áreas. Las 5S permiten generar puesto de trabajo más seguro, con menos interrupciones, que a su vez favorecen los ciclos de trabajo y calidad de colaborar en sus operaciones.

Entre las etapas para lograr el objetivo están:

- Evaluación del estado actual de área con respecto a cada punto mencionado en las 5S.
- Solicitar apoyo, debe haber una buena comunicación y apoyo total por parte de la gerencia para lograr la aceptación de la implementación y la estandarización.
- Capacitación, es necesario capacitar a los operarios y supervisores en la metodología, importancia y beneficios.
- Implementación, requiere de compromiso gerencial y operativo, además de un aporte económico para ejecutar los cambios.

Se realiza la Evaluación con presencia de los operarios para conocer el estado actual en que se encuentra el área de extrusión con respecto a cada fase de las 5S.

Tabla 21*Evaluación Seiri.*

SEIRI		
N°	Eliminar lo que sobra mantener lo útil	VERDADERO
1	¿Hay cosas inútiles que pueden molestar en el área de trabajo?	X
2	¿Hay materias primas, semi elaborados o residuos?	X
3	¿Hay algún tipo de herramienta, tornillería, pieza de repuesto, que no se usa?	X
4	¿No se encuentran todos los objetos de uso frecuente ordenados, en su ubicación y correctamente identificados en el área laboral?	X
5	¿Los objetos de medición no están identificados ni ordenados en el área laboral?	X
6	¿Están todos los elementos de limpieza: trapos, escobas, guantes, productos sin ubicación y sin rotulación?	X
7	¿No está todo el equipo: mesas, sillas, armarios ubicados e identificados correctamente?	
8	¿Existe maquinaria inutilizada en el área de trabajo?	
9	¿Existen cosas sin uso: accesorios, herramientas, insumos o similares?	X
10	¿Están los elementos innecesarios identificados como tal?	
	Puntuación	7

Tabla 22*Evaluación Seiton.*

SEITON		
N°	Un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio	VERDADERO
1	¿No están claramente definidos los pasillos, áreas de almacenamiento, lugares de trabajo?	
2	¿Son innecesarias algunas las herramientas disponibles y son difíciles encontrar?	X
3	¿Es complicado diferenciar e identificar los materiales o semielaborados del producto final?	X
4	¿Están todos los materiales, tarimas, contenedores almacenados de forma inadecuada?	
5	¿Hay algún tipo de obstáculo cerca del elemento de extinción de incendios más cercano?	
6	¿Tiene el piso algún tipo de desperfecto: grietas, huecos, gradilla...?	X
7	¿Están las estanterías u otras áreas de almacenamiento en el lugar inadecuado y mal identificadas?	
8	¿Los estantes no tienen letreros para conocer qué materiales van depositados en ellos?	X
9	¿No se indican las cantidades máximas y mínimas permitidas y el registro de almacenamiento?	X
10	¿Inexistencia de demarcación para indicar claramente los pasillos y áreas de almacenamiento?	
	Puntuación	5

Tabla 23*Evaluación Seiso.*

SEISO		
Nº	Inspección y Eliminación de las causas de la suciedad	VERDADERO
1	¿Se pueden encontrar manchas de aceite, polvo o residuos en el suelo?	X
2	¿Hay partes de las máquinas o equipos sucios, con manchas de aceite, polvo o residuos?	X
3	¿Está la tubería de aire como eléctrica sucia o en mal estado?	
4	¿Está el sistema de drenaje de los residuos de tinta o aceite obstruido?	
5	¿Hay fluorescentes defectuosos?	
6	¿Las paredes, suelo y techo se mantienen sucios, con residuos?	
7	¿Las máquinas no se limpian con frecuencia y mantienen grasa, virutas...?	
8	¿Inexistencia de un plan de limpieza juntamente con el mantenimiento de la planta?	
9	¿No hay una persona o equipo responsable de supervisar las operaciones de limpieza?	
10	¿Falta de iniciativa para barrer y limpiar el suelo y los equipos?	X
	Puntuación	3

Tabla 24

Evaluación Seiketsu.

SEIKETSU		
Nº	Seguir un método para aplicar un procedimiento	VERDADERO
1	¿La ropa que usa el personal es inapropiada o está sucia?	
2	¿Las diferentes áreas de trabajo no tienen la luz suficiente y ventilación para la actividad que se desarrolla?	X
3	¿Hay algún problema con respecto a ruido, vibraciones o de temperatura (calor / frío)?	X
4	¿Hay alguna ventana o puerta rota?	
5	¿Hace falta zonas de descanso, comida y espacios habilitados para fumar?	
6	¿No realizan propuestas de mejoras en las diferentes áreas de la empresa?	
7	¿No hay cultura que promueva los hábitos de seguridad?	X
8	¿No hay procedimientos disponibles para utilizar en cualquier instante?	
9	¿No se consideran futuras normas como plan de mejora del área y empresa en general?	X
10	¿Falta de compromiso para mantener las 3 primeras S, eliminar lo innecesario, espacios definidos, limitación de pasillos, limpieza?	X
	Puntuación	5

Tabla 25

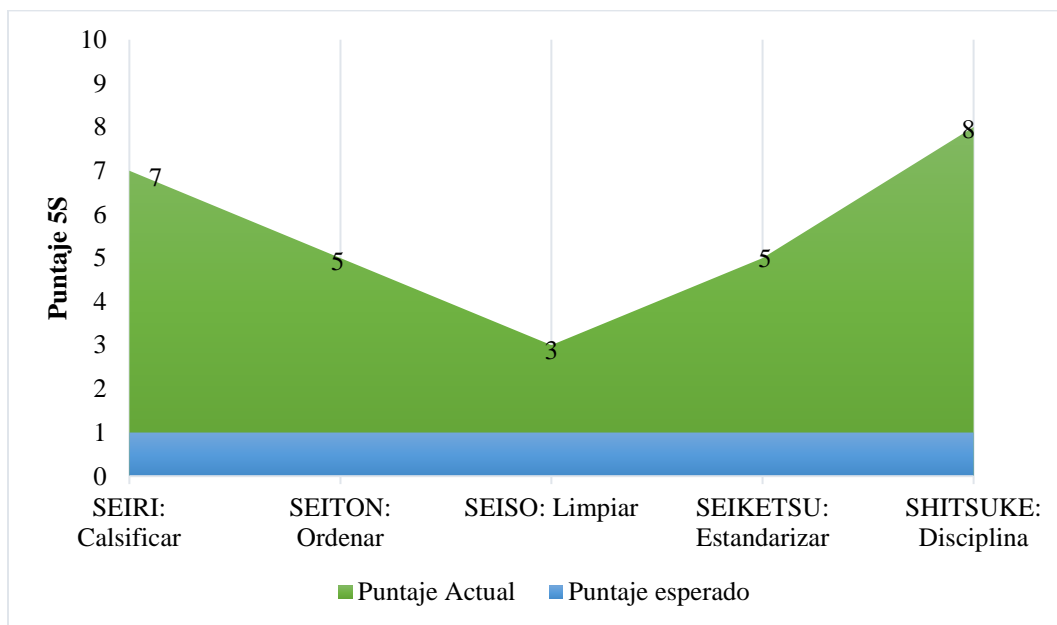
Evaluación Shitsuke.

SHITSUKE		
N°	Respetar las normas y estándares reguladores del funcionamiento de una organización.	VERDADERO
1	¿No hay control diario de limpieza?	
2	¿Los informes o registro no se realizan correctamente y a su debido tiempo?	X
3	¿En ocasiones no completan registros o formularios?	X
4	¿No utilizan el material de protección para realizar trabajos específicos (¿arnés, casco...)?	X
5	¿El personal no está capacitado y motivado para llevar a cabo la implementación de estándares definidos?	X
6	¿Uso incorrecto del uniforme reglamentario, así como el equipo de seguridad diario para las actividades que se llevan a cabo?	X
7	¿Las herramientas y accesorios no se guardan correctamente?	X
8	¿No hay cumplimiento de los controles de stocks o no hay controles implementados?	X
9	¿No existen seguimiento de mejoras implementadas?	
10	¿Las actividades definidas en las 5S no se llevan a cabo y no establecen seguimientos?	X
	Puntuación	8

Como resultado la evaluación realizada se obtiene la Figura 29 donde se muestra el puntaje actual y el esperado, comprendiendo que, de acuerdo con los ítems evaluados, se desea tener un menor puntaje para tener un mejor cumplimiento en fase de las 5S.

Figura 29

Resultado del puntaje actual y esperado de las 5S.



5.1.2 Kanban

Para mejorar el control del programa de producción, las ordenes en proceso y administración de ordenes finalizadas, se propone la implementación de un control visual en el área de extrusión, con el fin de que la solicitud de materia prima sea hecha con el tiempo suficiente y tanto el personal del primero como segundo turno estén enteradas del avance.

Esta herramienta permitirá la reducción de desperdicios en tiempos, inventarios y ayudará a la organización de la empresa.

Este método de control visual propone a la empresa tener una pizarra, donde según la metodología Kanban de producción se indique, qué y cuánto hay que fabricar. No obstante, por la naturaleza del proceso es necesario indicar alguna información adicional que permitirá un mejor control: apariencia y tipo de polietileno, espesor de la película, ancho, y si la materia prima ya se encuentra lista para entrar a producción.

El proceso de funcionamiento será de la siguiente manera, una vez que el planificador entregue el plan de producción, el supervisor del turno será responsable de anotar en la pizarra las órdenes que se debe producir. Luego podrá realizar la solicitud de materia prima al almacén de cada una de esas órdenes.

Esto hace que haya comunicación entre operarios acerca de donde está la orden inicial y cuales han finalizado.

Como manera de ejemplo se muestra la Figura 30, la información en la pizarra ilustrativa.

Figura 30

Diseño del control visual: pizarra Kanban.

N° Orden Ancho Espesor	MP <input type="checkbox"/>	N° Orden Ancho Espesor	MP <input type="checkbox"/>
N° Orden Ancho Espesor	MP <input type="checkbox"/>	N° Orden Ancho Espesor	MP <input type="checkbox"/>
N° Orden Ancho Espesor	MP <input type="checkbox"/>	N° Orden Ancho Espesor	MP <input type="checkbox"/>

5.1.3 Coordinación para el transporte de producto terminado

La empresa hoy en día tiene asignado un montacarguista por cada uno de los turnos, día y noche. Este recurso está destinado a suplir materia prima a los procesos de laminación, impresión y extrusión, adicionalmente se le ha colocado la tarea de recoger el producto terminado que sale de los procesos de corte y extrusión, sin embargo, con el paso del tiempo esta tarea final para el proceso de extrusión ha ido pasando a segundo plano.

Como solución inmediata a tal problema se propone lo siguiente:

- Realizar una reunión entre los responsables del almacén y del área de producción con el fin de conocer la carga laboral del montacarguista y si las tareas que le son asignadas son suficientes para una sola persona.
- Con la aplicación de la metodología de las 5S quedará más espacio en el área de almacenamiento de extrusión, con ello se podrá establecer una sección de almacenamiento de producto terminado donde puedan permanecer tres tarimas, esto le dará suficiente tiempo al montacarguista para recoger el producto. Cada tarima puede almacenar un promedio dos bobinas de 300 kilogramos, esto representa 2,3 horas de producción por tarima, lo que permite que el montacarguista tenga 4,6 horas para habilitar dos espacios para el siguiente producto en salir.

Estas medidas permitirán eliminar una tarea de 23 minutos y 478 metros aproximados que recorre el operario por tarima, además de reducirle el cansancio por movimientos y levantamiento de peso innecesario.

5.1.4 Digitalización de documentos

El método de documentación digital para el proceso de extrusión tiene un impacto sobre los desperdicios de espera, sobre procesos, transporte y movimientos innecesarios, ya que en la actualidad toda la información relacionada con el proceso es manipulada de forma física e informalmente, es decir no tiene un lugar específico de ordenes en proceso y finalizadas y espacio para almacenar el programa vigente. También, se suma el riesgo de que la grapa que une a las hojas se pierda y llegue a contaminar el producto terminado.

Para implementar el método se propone la compra un dispositivo electrónico, donde sea posible ver las órdenes de producción en proceso y el plan de producción. Este dispositivo será

utilizado por los cuatro operarios de extrusión principalmente, por lo cual debe realizarse una capacitación y acompañamiento en el uso.

Adicionalmente, se considera que este dispositivo debe tener aproximadamente las siguientes características: capaz de transportarse, mínimo del tamaño estándar (12,4 pulgadas), peso promedio de 600 gramos, carga rápida, protector de pantalla y estuche de protección de fácil limpieza y de material no quebradizo.

5.1.5 Plan de registro en el sistema de las condiciones de producción y calidad.

La ausencia de información técnica y de calidad en la orden de trabajo es un problema común en el proceso de extrusión, esto ha hecho que el operario tome decisiones según su experiencia en cuánto a variables de la máquina para lograr producir un producto, pero algunos de estos productos tienen restricciones en cuánto a esas variables para que al final el producto terminado logre obtener propiedades mecánicas particulares.

En lo que respecta a los analistas de calidad, cuando la información no está, toman la decisión de realizar los análisis generales y proceden aceptar contra estándares. En casos particulares llaman personalmente al equipo técnico de ingeniería y desarrollo para que les indiquen como proceder.

Ante la situación anterior, se revisa el sistema de la empresa para saber si es posible adaptar la información, dónde debe ingresarse y quién debe hacerlo. Debido a que es información técnica y la empresa cuenta con un ingeniero especializado en polietilenos se determina que la base de datos debe ser suministrada por esta persona. En cuanto al ingreso de la información al sistema debe hacerse de forma manual por parte de un técnico de investigación y desarrollo. En la Tabla 25 se muestra la propuesta de un plan de implementación.

Tabla 26

Plan de implementación para el registro en el sistema de las condiciones de producción y calidad.

Etapa	Responsable	Tiempo invertido total
Definición de base de datos.	Ingeniero de polietilenos.	20 horas
Ingreso de base de datos al sistema de producción de la empresa.	Técnico de Investigación y desarrollo.	30 horas
Prueba piloto con los involucrados.	Ingeniero de polietilenos y responsable del sistema	5 horas
Correcciones, si son necesarias.	Ingeniero de polietilenos y responsable de TI.	5 horas
Capacitación de los operarios, supervisores y analistas de calidad.	Ingeniero de polietilenos.	2 horas

5.1.6 Recepción y etiquetado de materia prima

Cuando las tarimas de materia prima ingresan al almacén son etiquetadas con el código de Resinplast sobre el enfarde y no por cada uno de sus sacos, además la referencia de la ubicación es escrita con marcador sobre el mismo enfarde.

El operario que prepara los pedidos de materiales debe ir a buscar las referencias y tomar la cantidad de sacos necesarios que le están pidiendo, aunque esos sacos son enviados a producción sin la etiqueta Resinplast. Debido a la experiencia de los operarios que trabajan en la extrusora, estos logran conocer cuáles son los grados de resina que corresponde a cada descripción, sin embargo, esta práctica deja una puerta abierta al error humano.

Se establece como solución editar el procedimiento de GO-LG-P-04, llamado *Embalaje y desembalaje de materias primas* donde se indique que cada uno de los sacos de resinas debe ser etiquetado de forma individual.

Conjuntamente, debe capacitarse a los operarios que realizan tal tarea de manera que acusen de la responsabilidad que se les está asignado y comunicar a todos los involucrados de este cambio.

5.1.7 SMED

Con esta herramienta se pretende disminuir a un solo dígito el tiempo de cambio de la formación del globo y todas las tareas que conllevan este subproceso, y para lograrlo es necesario que el proceso sea elaborado de forma estándar. La descripción del proceso es bajo el escenario de un arranque de semana o por nuevo levantamiento de globo, no por cambios.

Cada una de las etapas del SMED son desarrolladas por medio de un cursograma analítico en la Tabla 26.

La etapa 3, acerca de convertir las operaciones internas y externas, ocurre durante los cambios de una producción a otra, una vez que el globo este formado y controlado. Por ello el mayor enfoque está en mejorar las etapas 4 y 5 donde el objetivo es reducir las operaciones internas y externas por medio de propuestas de mejora.

Tabla 27
Cursograma Analítico.

Cursograma analítico						
Empresa: Resinplast Costa Rica.		Resumen				
Proceso: Extrusión.		Operación	Figura	Suma	Operación	Suma
Objetivo: Establecer las actividades que forman parte del subproceso de formación del globo en el proceso de extrusión.		Transporte	○	40	Interna: I (máquina funcionando)	36
		Espera	□	16	Externa: E	
		Inspección	◇	0		
		Almacenamiento	▽	5		
		Almacenamiento		0	(máquina funcionando)	25
		Distancia (m)		135,98	Total	61
Operarios : A y B		Hoja: 1 de 1		3882		
#	Descripción	Personal	Tiempo (s)	Distancia (m)	Símbolo	Propuesta de Mejora
1	Encender cañones (calentamiento).	A	19	0	○	
2	Caminar hacia el escritorio.	A	3	1,2	□	Digitalización de documentos
3	Revisar la formulación.	A	101	0	◇	Digitalización de documentos y Método estándar la producción de órdenes.
4	Caminar hacia los estaciones con resinas.	A	12	4	□	SS
5	Revisar las resinas en los estaciones.	A	150	0	◇	
6	Bucar los recipientes para limpiar las resinas restantes.	B	150	3	□	Método para el uso de estaciones.
7	Caminar hacia las tolvas.	A-B	10	3	□	
8	Colocar los baldes o estaciones y abrir tubería.	A-B	12	0	□	
9	Caminar con los baldes hacia el área de almacenamiento	A-B	13	3	□	
10	Vaciar la resina que se sacaron de la tolva.	A-B	90	0	◇	
11	Buscar estaciones limpias y colocarlos en el área.	B	128	2	□	Método para el uso de estaciones, esta operación sería eliminada
12	Caminar hacia los sacos de resinas.	A	9	3	□	
13	Revisar los sacos de resina.	A	102	0	◇	Se conoce los grados de memoria
14	Trasladar tarima con la carretilla.	B	235	3	□	SS
15	Abrir y vaciar las resinas en los estaciones.	A-B	228	0	◇	
16	Caminar hacia el escritorio para traer etiquetas y marcad	A	18	4	□	SS y Analisis del puesto de trabajo
17	Revisar el grado, anotar y etiquetar.	A	97	0	◇	Identificar con un número permanente cada estación y utilizar una pizarra adicional donde se anote cual grado se encuentra en cada uno. Reduciría el uso de etiquetas blancas y los estaciones tendrían una mejor presentación.
18	Volver a revisar formulación.	A	62	0	◇	Digitalización de documentos
19	Revisar etiqueta de manguera e introducir en el estacion	A-B	133	0	◇	Sustitucion y ordenamiento de mangueras actuales por mangueras de colores que permitan saber por color su capacidad de succion. Etiqueta de cañon en la parte superior.
20	Configurar fórmula en el sistema.	A	252	3	□	Digitalización de documentos. Analizar la sustitucion de codificación manual para eliminar posibles errores de la introduccion de datos.
21	Encender llenado de tolvas.	A	25	0	○	
22	Caminar hacia la embobinadora.	A-B	3	1,2	□	
23	Codificar embobinadora.	A	147	0	◇	
24	Colocar core 1 en la barra embobinadora.	B	78	0	□	
25	Encintar core 1.	B	30	0	□	
26	Medir la posición de core 1.	B	15	0	□	
27	Presionar boton core 1.	B	12	0	□	
28	Caminar hacia el otro lado de la embobinadora.	B	3	1,5	□	
29	Colocar core 2 en la barra embobinadora.	B	80	0	□	
30	Encintar core 2.	B	26	0	□	
31	Medir la posición de core 2.	B	17	0	□	
32	Presionar boton core 2.	B	10	0	□	
33	Subir al segundo piso	A	12	12,26	□	
34	Abrir tapas de tratadora	A	40	0	□	
35	Bajar al primer piso.	A	8	12,26	□	
36	Buscar herramientas y acercar escalera.	A	30	0	□	SS. Caja de herramientas.
37	Limpiar labio.	A	249	0	□	
38	Encender la salida de material.	A	18	0	□	
39	Limpieza de material frío acumulado (chorcha).	A	23	0	□	SS. Caja de herramientas.
40	Amarra plástico de salida al globo.	A	45	0	□	críticos para un arranque exitoso y de ello depende la merma final.
41	Ajustar parámetros para que suba el globo.	A	270	0	□	Un operario adicional como apoyo en la embobinadora.
42	Subir hasta la cima.	B	18	36,78	□	Documentar técnica en instructivo.
43	Sacar aire del globo con la cutter.	B	10	0	□	Herramientas de uso rápido ubicada en la cispide: cutter y marcador.
44	Encender tratadora.	B	50	0	□	
45	Bajar al primer piso.	B	18	36,78	□	
46	Jalar el material desde la embobinadora.	B	387	0	□	
47	Dividir la película en dos.	B	10	0	□	
48	Enhebrar	A-B	64	0	□	El operario "A" debe dejar de controlar los parámetros del globo para ayudarle al asistente, "B".
49	Ajustar rodillos y alineadores.	A	126	0	□	
50	Traer cinta métrica y revisar ancho 1.	A	38	1,5	□	Cinta métrica suele estar sobre el escritorio.
51	Caminar hacia el otro lado de la embobinadora.	A	3	1,5	□	
52	Revisar ancho 2.	A	41	0	□	
53	Sacar cutter y corta muestra 1.	A	23	0	□	
54	Colocar muestra sobre escritorio.	A	5	0	□	
55	Caminar hacia el otro lado de la embobinadora.	A	3	1,5	□	
56	Corta muestra 2.	A	17	0	□	
57	Colocar muestra sobre escritorio.	A	3	0	□	
58	Buscar medidor de espesor y revisar.	A	71	0	□	Suele estar en alguna de las gabinetes del escritorio
59	Traer marcador y pasar sobre película.	A	22	0	□	SS
60	Caminar hacia el otro lado de la embobinadora.	A	4	1,5	□	
61	Marcar la película	A	4	0	□	
Total			3882	135,98		

5.1.8 Método para el uso de estañones

Los estañones representan una herramienta importante en la producción, ya que en estos se colocan cada uno de los componentes que conforman la fórmula de polietileno. También es necesario que los estaños tengan capacidades suficientes para contener varios sacos de resina, de manera que le permita al operario hacer otras tareas sin que la máquina se desabastezca tan rápidamente.

Se realiza un análisis en sitio y se identifica lo siguiente:

- Ausencia de orden en el lugar de trabajo.
- Estañones de metal con desprendimiento de pintura seca y con inicios de óxido.
- Cantidad de contenedores totales 15, distribuidos de la siguiente manera: 6 estañones de metal, 4 basureros medianos y 5 bidones plásticos.
- Mangueras succionadoras enredadas y sin identificación adecuada.



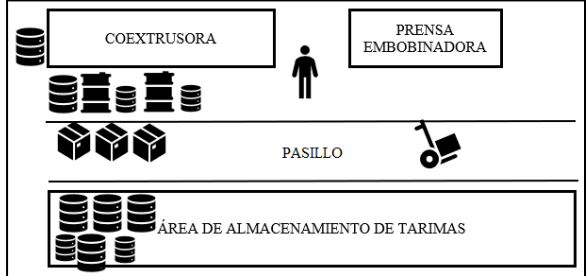
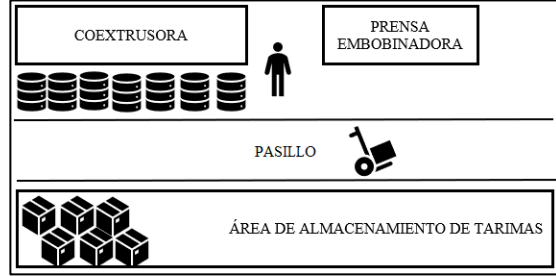
Actualmente se conoce que, la mayor cantidad de componentes que tiene una fórmula son siete, el peso promedio de kilogramos que tiene un saco son 20, y la velocidad promedio de la máquina es 180 kilogramos por hora y el área establecida para colocar los estañones es de 5,5 metros.

Se habla con los operarios para conocer el criterio acerca de cuál de los tres tipos de contenedores le favorece más en su proceso, y se concluye que los estañones de metal son los preferidos para ellos porque tienen más capacidad y son más pesados por lo que ayuda a sostener el peso de las mangueras.

De acuerdo con lo anterior, en la Tabla 27 se propone el cambio de los estañones.

Tabla 28

Escenario para cambios de estañones.

Estado Actual	Estado Propuesto
	
Características	Características
Material: metal. Altura: 93 cm Diámetro: 53 cm Peso: 20 kg Tapa modificada por mantenimiento.	Material: plástico. Altura: 90 cm Diámetro: 56 cm Peso: 18,5 kg Posibilidad de modificar la tapa plástica.
Diseño Actual	Diseño Propuesto
	
Cantidad contenedores : 15 (varios) Espacio utilizado: 10 m	Cantidad contenedores: 7 Espacio utilizado: 5 m

Con los nuevos estañones se pretende mantener los beneficios actuales y lograr estandarizar el proceso, reducir el tiempo de preparación de resinas, generar mayor orden en el área, liberar espacio para almacenamiento, mejorar la comunicación entre compañeros y proteger la integridad del producto.

5.1.9 Método para estandarizar la producción de órdenes.

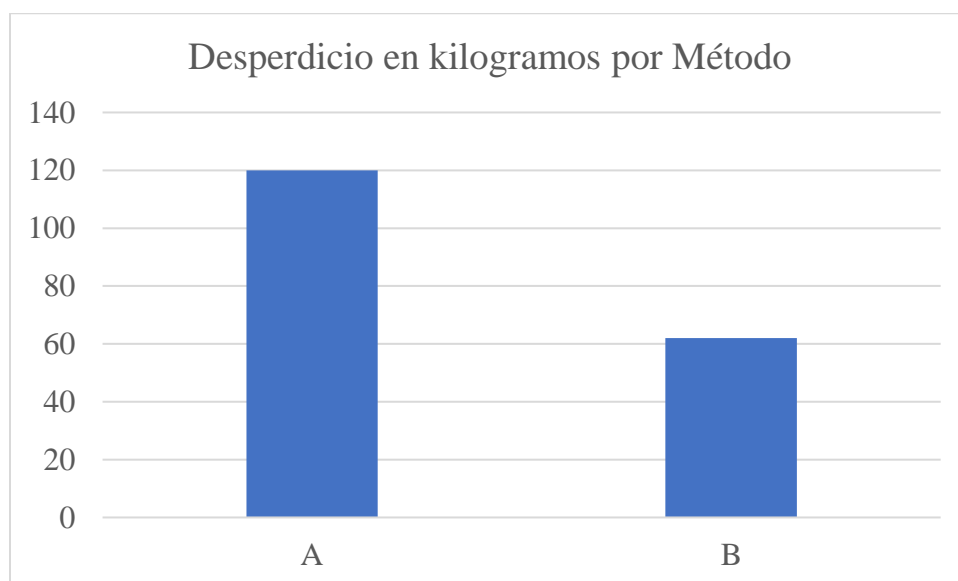
La estandarización de los procesos permite organizar las tareas de manera que cualquier empleado pueda elaborar el proceso logrando los mismos resultados con la misma eficiencia y calidad.

La coordinación del orden en que se producirán los trabajos del programa es definida por los operarios de extrusión, por lo cual entre ellos se ha encontrado diferencias en la toma de decisiones con respecto a las variables. Debido a esto, se determina la necesidad de estandarizar la estrategia entre operarios y eliminar la dependencia de decisiones.

Se realiza la validación de los dos métodos observados en la Figura 31, el método A considera el orden de las variables con la siguiente prioridad: apariencia, fórmula, espesor y ancho de salida, y el método B asigna la siguiente prioridad: apariencia, fórmula, ancho de salida y espesor.

Figura 31

Desperdicio en kilogramos por tipo de método



De acuerdo con los resultados de la gráfica se comprueba que el método B es el mejor, porque genera menor cantidad de desperdicio en cada cambio.

Adicionalmente se realiza un análisis de fórmulas en la Tabla 28 con el propósito de evitar el proceso de comparación de materiales de una orden a otra y el error humano, esto permite al operario una organización ser más eficiente de su producción, disminuyendo el cambio de la cantidad de tipos de resina de una formulación a otra, facilita la toma de decisiones basado en un criterio técnico previo, elimina el proceso de comparación de materiales y mejora la comunicación entre compañeros.

Tabla 29

Combinación de materiales por fórmula de polietileno.

FÓRMULA	COMBINACIÓN DE MATERIALES	AGRUPACIÓN A	AGRUPACIÓN B	ESPECIALES
1	ABCDGKMNT	ABC	DKNT	GN
2	ABCDKN	ABC	DKN	
3	ABCDKNT	ABC	DKNT	
4	ABCDL	ABC	DL	
5	ABCDO	ABC	DO	
6	ABCEFJ	ABC	EFJ	
7	ABCEFJM	ABC	EFJ	M
8	ABCGJMO	ABC	J	GMO
9	ABCO	ABC		O
10	ABDEI	ABD	E	I
11	ABDI	ABD		I
12	ABEGHJKX	ABE	JK	GHX
13	ACDELQ	ACD	E	LQ
14	ACDFKN	ACD	KN	F
15	ACDJL	ACD	J	L
16	ACKT	AC	KT	
17	ADGHJ	ADG	J	H
18	ADGI	ADG		I
19	ADGZ	ADG		Z
20	ADIN	ADI		N
21	AFU	AFU		
22	AGHJ	AGH	J	
23	BCP	BCP		
24	BELQ	BEL		Q
25	BELS	BEL		S
26	DHIMORV	DHI		MORV
27	EFHU	EFH		U
28	EIW	EIW		

En la segunda columna se representa por medio de letras las materias primas que componen cada fórmula, de esa manera se logran crear grupos de materias primas en común y así distribuir esta variable de forma rápida y eficiente.

5.1.10 Etiquetas Kanban

Parte del inventario en proceso surge de los arranques, cambios, pruebas de ingeniería y producto no aprobado, estas bobinas se colocan sobres tarimas y luego se almacenan junto a otras bobinas de producto terminado aprobado. Muchas de estas bobinas son almacenadas por varios días e incluso semanas en el piso de producción, provocando pérdida de espacio, impresión de desorden, riesgo de confusión entre bobinas y reprocesos, este último aspecto se debe en el caso que una bobina fuera destruida por error.

Debido a la necesidad de un control de bobinas se propone el uso de un método visual a través de etiquetas por estatus para identificarlas como: aprobado en color verde, cuarentena en color amarillo y rechazado en color rojo. Se define que estas etiquetas deben ser administradas, asignadas y eliminadas por el equipo de calidad, ya que ellos son los que realizan todos los análisis respectivos para determinar el estado final de una bobina.

En la Figura 32 se presenta un diseño para las etiquetas propuestas.

Figura 32

Kanban etiquetas de estado.

APROBADO	CUARENTENA	RECHAZADO
CÓDIGO:	CÓDIGO:	CÓDIGO:
LOTE:	LOTE:	LOTE:
RESPONSABLE:	RESPONSABLE:	RESPONSABLE:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

La implementación de las etiquetas requiere de la compra de estas, creación de un procedimiento en el sistema documental, capacitación de los operarios y asignación de un responsable y lugar para guardarlas bajo llave.

5.2 Diagrama futuro VSM

Este nuevo diagrama en la Figura 33, muestra las mejoras generadas a partir de la implementación de las propuestas y cambios recomendados provenientes del análisis realizado del diagrama actual.

Igualmente, se realiza un análisis de mejora en tiempo, ya que actualmente la empresa se ha establecido una meta de mayor aprovechamiento de la capacidad de la extrusora, porque se encuentra asociado a un objetivo de ventas mensual.

Al menos una vez al día la extrusora realiza uno de estos cambios por lo que la reducción de su tiempo e impacto en el desperdicio de materiales es de suma importancia.

De acuerdo con políticas de impactos en proyectos de Resinplast, se espera que un proyecto tenga un impacto positivo durante el primer trimestre de al menos un 30 % para que este sea aprobado y rentable.

Para los procesos de Preparación de cores y Almacenamiento se espera un gran impacto desde el inicio. El proceso de Preparación de cores es unificado con el de Preparación de resinas, aunque se considera que los operarios no tendrán que ir a cortar sus propios cores, sino que consistirá solamente en instalar los cores en la embobinadora y si la coordinación con almacén es adecuada, el tiempo de transporte por Almacenamiento disminuiría.

Figura 33
Diagrama Futuro VSM

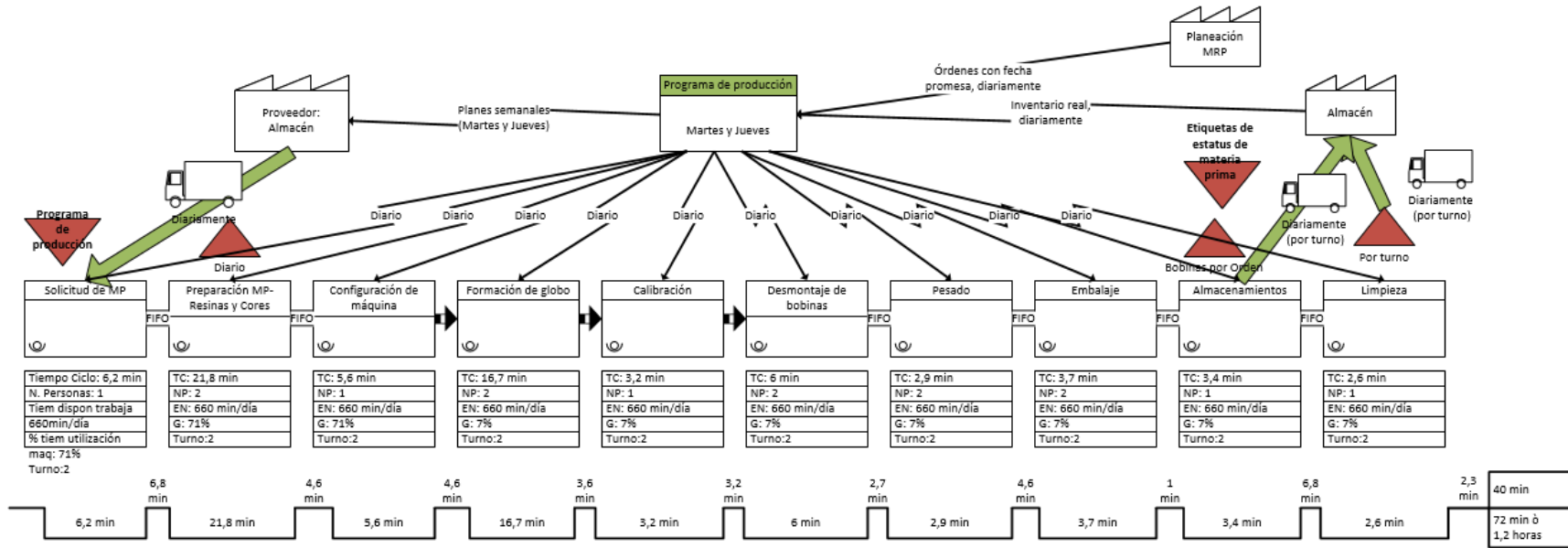


Tabla 30

Resultados del análisis del Diagrama futuro VSM.

N.º	Proceso	Tiempo Actual (min)	Tiempo proyectado teórico (min)	Mejora (%)
1	Solicitud de materia prima	8,8	6,2	30 %
2	Preparación de materia prima-resinas	63,8	21,8	66 %
	Preparación de cores (20 unidades)			
3	Configuración de máquina	8,0	5,6	30 %
4	Formación del globo	23,9	16,7	30 %
5	Calibración	4,6	3,2	30 %
6	Desmontaje de bobinas	8,6	6,0	30 %
7	Pesado	2,9	2,9	0 %
8	Embalaje	5,2	3,7	0 %
9	Almacenamientos	17,2	3,4	80 %
10	Limpieza	3,7	2,6	30 %
	<i>Tiempo procesamiento (min)</i>	146,8	72,2	49 %
	<i>Disponibilidad del equipo</i>	68 %	88 %	30 %
	<i>Kilogramos por hora procesados</i>	180	234	54

En la Tabla 29 se puede observar el tiempo que mejoraría cada una de las operaciones después de implementar las propuestas. Además, el proceso pasaría de tener 11 operaciones a solo 10. Las operaciones de Pesado y Embalaje no reflejan mejora, ya que en tiempo y tareas estos procesos son considerados como óptimos.

5.4 Análisis costo-beneficio

Tabla 31

Costos asociados a las propuestas.

Rubro	Costo colones	Fuente
Costo Hora Estudiante	₡ 1 562,5	Resinplast
Costo Hora Operario	₡ 1 650	
Costo Hora Supervisor	₡ 2 650	
Costo Hora Mantenimiento	₡ 2 150	
Costo Hora Ingeniero Polietileno	₡ 4 400	
Costo Hora Técnico de Desarrollo	₡ 2 865	
Costo Hora Analista de Calidad	₡ 2 315	

Con base en los costos desarrollados en la Tabla 30 se describen las inversiones iniciales necesarias que se deben realizar para llevar a cabo la implementación de cada una de las propuestas.

Tabla 32

Inversión inicial por propuesta.

Tipo	Propuestas	Cantidad	Costo total colones
	N°1: 5S		
Mano de obra directa	Hora Supervisor	4	₡ 10 600
	Hora Operario	4	₡ 6 600
	N°2: Kanban		
Mano de obra directa	Hora Supervisor	2	₡ 5 300
	Hora Operario	4	₡ 6 600
Gastos generales	Materiales Consumibles	1	₡ 38 930
	N°3: Coordinación para el transporte de producto terminado		
	No requiere inversión adicional	0	₡ 0
	N°4: Digitalización de documentos		
Mano de obra directa	Hora Supervisor	2	₡ 5 300
	Hora Operarios	4	₡ 6 600
Gastos generales	Materiales Consumibles	1	₡ 325 365

Tabla 31 (continuación)

Tipo	Propuestas	Cantidad	Costo total colones
	N°5: Plan de registro en el sistema de las condiciones de producción y calidad		
Mano de obra indirecta	Hora Ingeniero de Polietileno	27	¢ 118 800
	Hora de Técnico de desarrollo	30	¢ 85 950
Mano de obra directa	Hora Supervisor	2	¢ 5 300
	Hora Operarios	4	¢ 6 600
	N°6: Recepción y etiquetado de materia prima		
Mano de obra directa	Hora Supervisor	1	¢ 2 650
	Hora Operarios	4	¢ 6 600
Mano de obra indirecta	Hora Estudiante	5	¢ 7 812,5
	N°7: SMED		
Mano de obra directa	Hora Supervisor	20	¢ 53 000
	Hora Operarios	4	¢ 6 600
	N°8: Método para el uso de estañones		
Mano de obra directa	Hora Supervisor	2	¢ 5 300
	Hora Operarios	4	¢ 6 600
Mano de obra indirecta	Hora Mantenimiento	10	¢ 21 500
Gastos generales	Materiales Consumibles	7	¢ 210 000
	N°9: Método estándar para la producción de ordenes		
Mano de obra directa	Hora Supervisor	3	¢ 7 950
	Hora Operarios	6	¢ 9 900
	N°10: Etiquetas Kanban		
Mano de obra directa	Hora Supervisor	2	¢ 5 300
	Hora Operarios	4	¢ 6 600
	Hora Analista de calidad	2	¢ 4 630
Mano de obra indirecta	Hora Estudiante	5	¢ 7 812,5
Gastos generales	Materiales consumibles	5000	¢ 135 600
Total			¢ 1 119 800

En el Anexo F se muestra el detalle de los costos de los consumibles presentados en la Tabla 31.

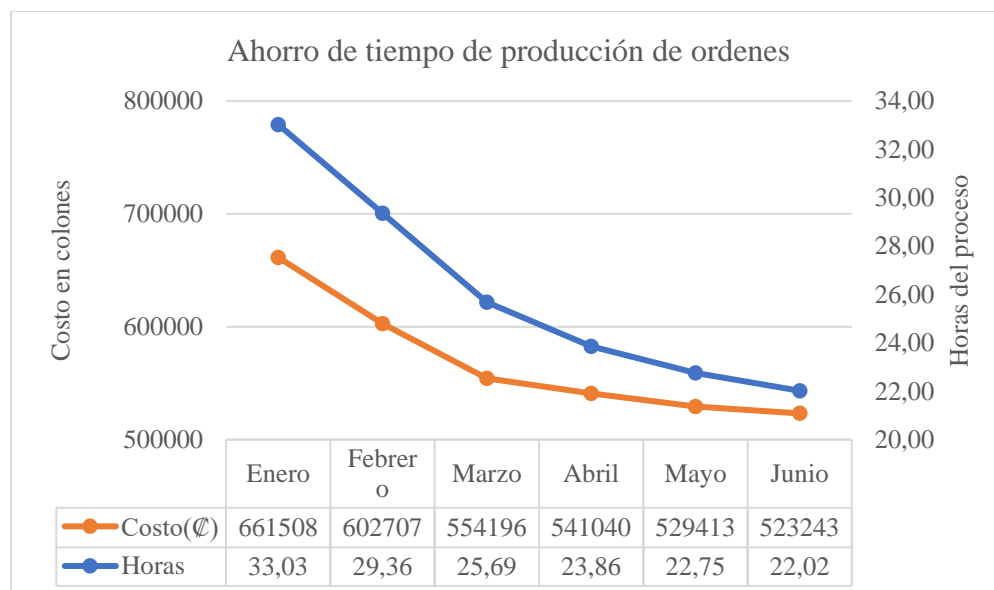
Con la implementación de las propuestas el propósito principal es reducir gastos, y estos gastos son los siguiente:

Merma o desperdicio: el objetivo de producción ha sido mantener un desperdicio por debajo de un 5 %, ya que todo lo que está por encima representa un gasto innecesario. Durante el periodo de enero a marzo del año 2021 el consumo en kilos de merma fue de 8191, equivalente aproximadamente a ¢ 9 000 000, eso quiere decir que en promedio mensualmente se gastó ¢ 3 000 000.

Ahorro de tiempo de producción de ordenes: De acuerdo con el análisis efectuado anteriormente se espera como mínimo la mejora de un 30 % del tiempo de arranque de una orden de producción. El promedio de arranques mensuales es de 15, representado en 36,7 horas mensuales. Lo anterior proviene del tiempo actual de arranque 146,8 min por 15 veces al mes, dividido entre 60. El dato anterior es multiplicado por el ¢ 20 027,48 costo hora, dando como resultado ¢ 735 008,516 de gasto mensual. De esta manera se estima que, si la mejora mínima en el tiempo de arranque es de un 30%, y considerando aún 15 arranques, el gasto mensual sería de ¢ 514 706,24. De esta manera se estima un ahorro mensual de ¢ 220 302,27. Los resultados obtenidos se observan en la Figura 34.

Figura 34

Ahorro en las ordenes de producción en tiempo y costo.



Costo Calidad: De acuerdo con información del control y seguimiento de reclamos, en promedio mensualmente se obtiene al menos un reclamo por parte del cliente acerca de defectos en los polietilenos, esto genera que la empresa tenga que otorgar compensaciones económicas a los clientes o reemplazar la cantidad de kilos no conformes. Durante el periodo de enero a julio del año 2021, el monto por compensaciones y reemplazos fue de aproximadamente ₡ 4 500 000, eso quiere decir que en promedio mensualmente se gastaron ₡ 643 000.

Impacto ambiental: De acuerdo con la información suministrada durante los meses de enero a marzo del año 2021 el consumo en kilos de merma fue de 8 191, es decir hubo 2 730 kilos por mes que tuvieron que ser reciclados.

Desde la perspectiva de costo de energía eléctrica para la producción del polietileno, el costo por kilo fue de ₡ 84. El monto anterior se multiplica por los 2 730 kilos por mes. De esta manera se estima que el ahorro mensual sería de ₡ 229 320.

Cultura organizacional: Gracias a la mejora de proceso y seguridad del lugar de trabajo se podrá apreciar una mejor comunicación entre compañeros y áreas de trabajo generando beneficios en la cultura organizacional e impactando así el ambiente laboral y personal positivamente.

En la Figura 35 se muestra el ahorro progresivo de los aspectos mencionados, considerando obtener en tres meses el ahorro mínimo esperado por la compañía del 30 %.

La suma total esperada de ahorro anual es de aproximadamente ₡ 25 000 000.

Figura 35

Ahorro anual aproximado.

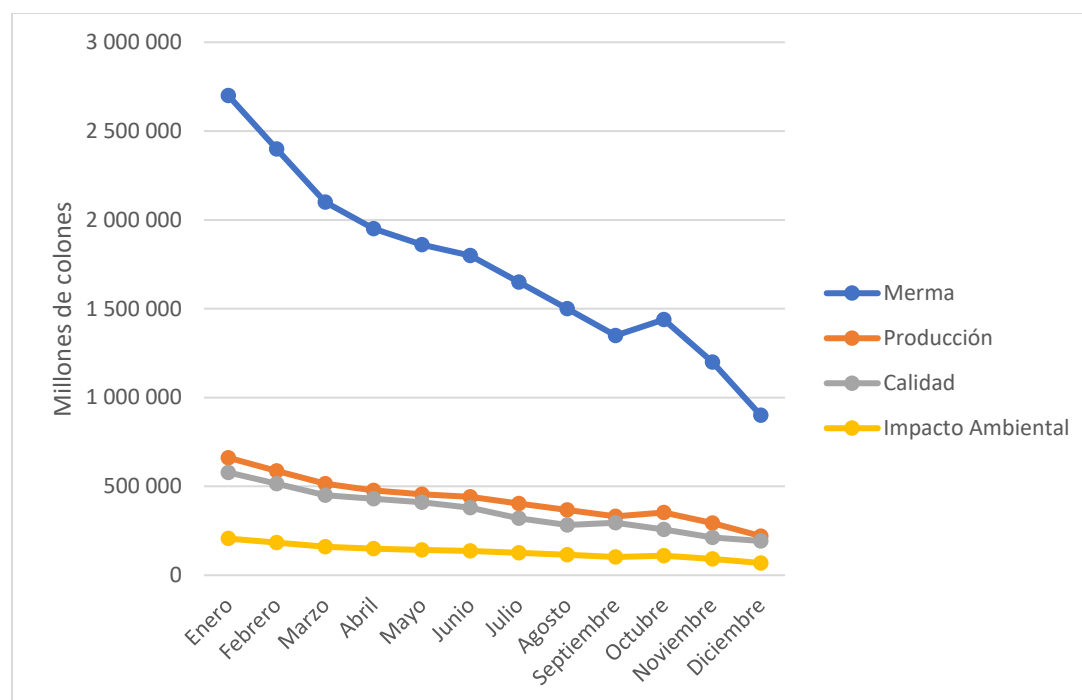


Tabla 33

Ahorro mensual aproximado.

Ahorro de merma	₡ 3 000 000
Tiempo de producción	₡ 220 302
Ahorro costo de calidad	₡ 643 000
Impacto ambiental	₡ 229 320

Mejora de la cultura organizacional	No cuantificable
Ahorro mensual estimado	₡ 4 092 622
Ahorro anual estimado	₡ 25 000 000

Debido a que la ganancia (₡ 4 092 622) es mayor que la inversión (₡1 119 800), se afirma que estos cambios producirán ganancias por encima de la rentabilidad.

Además, se valida la necesidad de realizar una inversión adicional para conservar en el tiempo las propuestas planteadas, por lo cual se efectúan los cálculos para predecir el comportamiento de este.

Se realiza una proyección por 5 años mediante un flujo de efectivo, para obtener los indicadores VAN y TIR. Los cálculos realizados se muestran en la Tabla 33.

Tabla 34*Flujo de caja.*

Año	0	1	2	3	4	5
(+) Ventas		€200 000 000	€210 000 000	€220 500 000	€231 525 000	€243 101 250
(-) Costo de ventas		-€120 000 000	-€126 000 000	-€132 300 000	-€138 915 000	-€145 860 750
(=) Margen Bruto		€80 000 000	€84 000 000	€88 200 000	€92 610 000	€97 240 500
(-) Gastos de administración		-€35 500 000	-€37 275 000	-€39 138 750	-€41 095 688	-€43 150 472
Utilidad antes de impuesto		€44 500 000	€46 725 000	€49 061 250	€51 514 313	€54 090 028
Impuesto Renta (25%)		-€11 125 000	-€11 681 250	-€12 265 313	-€12 878 578	-€13 522 507
Utilidad después de impuesto		€33 375 000	€35 043 750	€36 795 938	€38 635 734	€40 567 521
Inversión inicial	-€1 119 809					
Inversión de seguimiento de propuestas	€0	-€463 200	-€486 360	-€510 678	-€536 212	-€563 022
Flujo de caja	-€1 119 809	€32 911 800	€34 557 390	€36 285 260	€38 099 522	€40 004 499
TMAR % (Tasa Min Aceptable Rendimiento)	7%					
VAN (Valor Actual Neto)	€149 270 441,55					
TIR (Tasa Interna de Retorno)	2944%					

En el Anexo G se muestra el detalle de los cálculos presentados en la Tabla 33.

De acuerdo con los cálculos de la Tabla 33, el VAN (€ 149 270 441) es mayor que 0 así que se interpreta que el proyecto será rentable, es decir el proyecto podrá cubrir la TMAR (7 %) establecido y obtener ganancias.

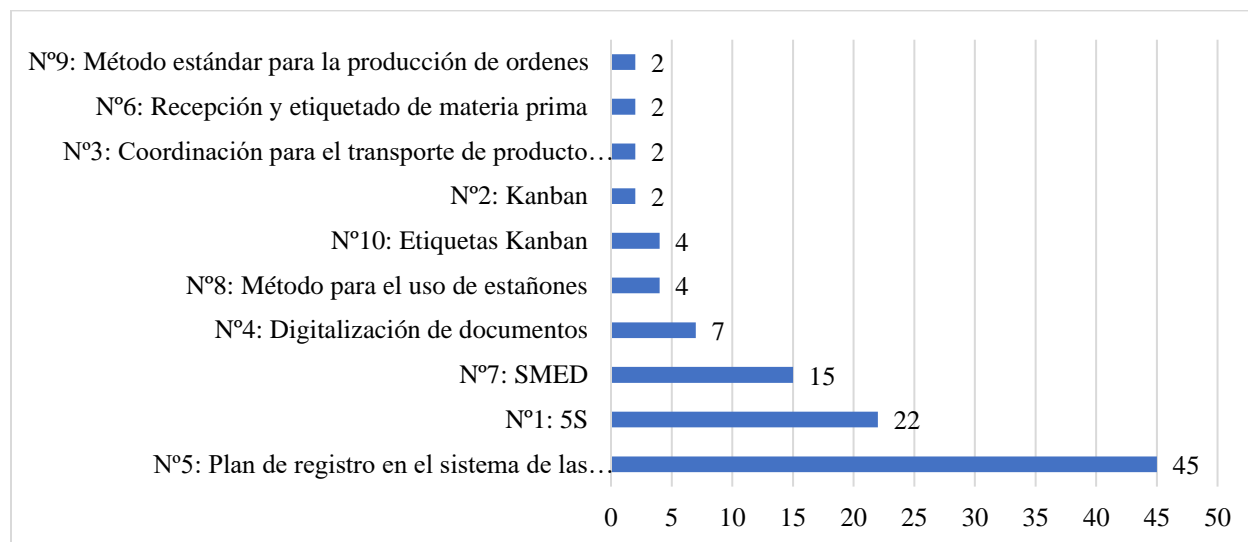
Por otra parte, el resultado porcentual del indicador TIR (2 944 %) es mayor al porcentaje de la TMAR (7%), es decir el rendimiento es superior al mínimo establecido y con ello se puede indicar que el proyecto también es viable.

5.5 Plan de Implementación

A continuación, en la Figura 36 se muestra la propuesta del cronograma para la implementación.

Figura 36

Propuesta de cronograma de implementación en días.



Se propone el tiempo en días para las implementaciones, ya que al haber dos turnos es muy probable que las capacitaciones se tengan de duplicar.

El tiempo que requiere la compra y entrega de los materiales de consumible para algunas de las propuestas no está incorporado en el cronograma.

Se recomienda que las responsabilidades y tareas que conlleva las implementaciones sea compartida y balanceada entre todo el recurso humano involucrado en el área.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la realización de este trabajo de investigación se concluye:

Se logró determinar las causas que originan el desperdicio de materia prima por medio del desarrollo de la herramienta VSM. Esta permitió conocer a profundidad las tareas, cantidad de operarios, flujos de materiales y equipos involucrados en el proceso de extrusión con el fin de determinar las posibles causas del desperdicio. Además, esta herramienta se complementa con el análisis de desperdicios o también llamado “mudas” realizado mediante una lista de características y escala calificativa (Anexo E).

Se alcanzó el propósito de analizar cada una de las causas encontradas por medio de la herramienta Ishikawa, se diagramó y analizó cada uno de los desperdicios encontrados dividiendo las principales causas en cinco categorías principales, mano de obra, máquinas, métodos, materiales, y medio ambiente, así como en subcausas, encontrando así todas las causas. También, se desarrolló una clasificación y priorización mediante la herramienta Pareto debido al número de las causas raíz responsables de los desperdicios, generando así una lista de 10 causas potenciales de un total de 17.

Al inicio del proyecto, entre los objetivos se había planteado utilizar la metodología DMAIC, sin embargo, en el proceso se cambió porque se considera que es mejor el desarrollo de las herramientas de Lean Manufacturing debido al enfoque que tiene la metodología en eliminar todo lo que resulte no útil en cualquier proceso, generando reducción de la producción y que no agregue valor.

Las estrategias establecidas mejorarán el proceso de extrusión provocando un impacto positivo sobre el desperdicio de materia prima. Las herramientas de la metodología de Lean Manufacturing son:

5S, la cual tiene el primer lugar como solución a las causas potenciales debido a su gran impacto sobre la organización, permitiendo un mejor desarrollo productivo mediante la limpieza, el orden y cultura organizacional.

Sistemas de Kanban, se proponen dos sistemas, el primero en producción mediante una pizarra de control, esta ayuda visual le permite a los operarios y supervisores mejorar el control de la producción con respecto al inventario, orden, uso de recursos y, lo más importante, el método para minimizar los cambios e impactar menos el porcentaje de desperdicio. Adicionalmente, se definió un método estándar para la producción de órdenes, donde se justificó con 58 kilogramos menos que el método B era el mejor, compuesto por el orden de las variables: apariencia, fórmula, ancho de salida y espesor del material.

La segunda propuesta con la herramienta Kanban se realizó en el inventario en proceso, con la implementación de etiquetas de colores por estatus: aprobado (verde), cuarentena (amarillo) y rechazado (rojo), este control visual ayudará a liberar espacio para almacenamiento, habrá mayor orden, eliminará el riesgo de confusión entre bobinas buenas y malas.

La falta de una técnica estándar para la formación del globo propuso adoptar la herramienta SMED para disminuir los tiempos muertos, a su vez se proponen soluciones como implementación de 5S, digitalización de documentos, colocar cajas de herramientas en puntos estratégicos y la sustitución y ordenamiento de mangueras de las mangueras de extrusión.

Además, la herramienta VSM permitió detectar desperdicios de alto impacto dentro del proceso, tales fueron solucionados con propuestas como: coordinación del transporte de producto terminado, compra de una Tablet para eliminar el uso del papel, registro de condiciones de calidad y variables, compra de estañones de una misma capacidad y calidad, actualización del método de la recepción y etiquetado de materia prima, estas soluciones en conjunto permiten estandarizar el proceso, reducir el tiempo de preparación, limpieza, liberar espacio para almacenamiento y un ambiente laboral sano mental y físicamente para resguardar la salud del empleado y la integridad del producto.

Se diseñó una simulación del proceso actual, que permitió decidir enfocar la mayoría de los esfuerzos en mejorar los tiempos de proceso, que a su vez afecta positivamente los tiempos de espera.

Con la implementación de todas las propuestas presentadas en el proyecto se tendría que invertir ¢1 119 800 para obtener un ahorro total de ¢ 4 092 622 al mes.

RECOMENDACIONES

Implementar las propuestas planteadas en trabajo de investigación con el fin de reducir el desperdicio de materia prima en proceso de extrusión.

Promover entre los operarios, jefaturas y en todas las áreas, no solo en extrusión, una cultura organización enfocada hacia la importancia de la filosofía de las 5S acerca del orden, limpieza y disciplina. Además, enfatizar acerca de la seguridad laboral.

Realizar auditorías de proceso acompañadas de planes de acción con incentivos por logros de objetivos, con el fin de supervisar el correcto funcionamiento y cumplimiento de procedimientos.

Velar por la importancia de cumplimiento del nivel de calidad comprometido por la organización, por medio del seguimiento de rechazos de producto y quejas tanto del cliente externo como del cliente interno.

Capacitar a los empleados de manera que logren tener equipos de trabajo multidisciplinarios, que permitan una mayor seguridad en la línea de extrusión en lo que respecta a mano de obra calificada disponible.

Controlar el cumplimiento de los planes de mantenimiento existentes de la empresa, además de concientizar a los supervisores y operarios de todas las áreas acerca de la importancia de estos planes para el buen funcionamiento, así como lo necesario de comunicar las alertas transmitidas por el equipo.

REFERENCIAS

- Anaconda. (2022). *Preguntas frecuentes sobre la anaconda*. <https://www.anaconda.com/faq>
- Arango, M., Campuzano, F., y Zapata, J. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Volumen 14, (número 27).
- http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242015000200014
- Banco Central de Costa Rica. (2016). Regulaciones de política monetaria 09-11-2016. <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Documentos/DocumentosMetodologiasNotasTecnicas/Definici%C3%B3n%20TBP%20y%20TED%20espa%C3%B1ol.pdf>
- Barrantes, R. (2007). *INVESTIGACIÓN Un camino al conocimiento Un enfoque cuantitativo y cualitativo*. Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Benavente, J. y Hernández, A. (2014). *Propuesta de mejora para la reducción de desperdicios en una línea de ensamble de filtros sellados. Caso: Empresa Affinia Venezuela C.A.* [Tesis de licenciatura publicada]. Universidad de Carobo.
- Cabrera, R. (s.f). *VSM Value Stream Mapping, Análisis de cadena de valor*.
- Cardona, D., Lavernia, C. y Alcerro, J. (2010). *Acta Ortopédica Mexicana*. Orthopaedic Institute at Mercy Hospital.
- Castro, C. (2008). *Planeación de la producción*. Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Durán, F. (2007). *Ingeniería de Métodos. Globalización: Técnicas para el Manejo Eficiente de Recursos en Organizaciones Fabriles, de Servicios y Hospitalarias*. Universidad de Guayaquil.

- Escalda, I., Jara, P. y Letzkus, M. (2016). *Mejora de procesos productivos mediante LeanManufacturing*. Facultad de Administración y Economía.
- Escuela Profesional de Traders. (s.f). Índices de bolsas internacionales.
<https://www.novatostradingclub.com/indices/indices-de-bolsa-internacionales/>
- García, R. (2005). *Estudio del Trabajo*. (2ª ed.) Mcgraw-Hill.
- Gonzáles, F. (2007). MANUFACTURA ESBELTA (LEAN MANUFACTURING). PRINCIPALES HERRAMIENTAS. *Revista Panorama Administrativo*, 85-112.
<http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/raites/article/view/77>
- Gonzáles, V., Franco, S., Gracia, W., Barcia, K. y Sabando, D. (2018). Modelo del mapeo del flujo de valor – value stream mapping (vsm) para la mejora de procesos de producción de empresa de dulcería-café. Escuela Superior Politécnica Litoral (ESPOL).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). *Diseño de la muestra en proyectos de encuesta*.https://www.snieg.mx/documentacionportal/normatividad/vigente/doctos_genbasica/muestra_encuesta.pdf
- Investing.com. (s.f.). Rentabilidad del bono Estados Unidos 10 años.
<https://es.investing.com/rates-bonds/u.s.-10-year-bond-yield#:~:text=El%20rendimiento%20de%20un%20bono,de%20la%20deuda%20del%20Gobierno.>
- Jiménez, F. y Espinoza, C. (2007). *Costos Industriales*. Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Jupyter. (3 de noviembre de 2022). Jupyter Con. <https://jupyter.org/>

Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sturrock, D. T. (2008). Simulación con software Arena [Resumen]. Simulación con el software arena, resumen de los capítulos 1 al 4, 4ta edición, 4,12.

López, D. (19 de febrero de 2020). Tasa de obstáculo. Numdea by fleebe. <https://numdea.com/tasa-de-obstaculo.html>

Madrigal, J. (2011). Manual de plásticos para diseñadores. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

ManufacturingTerms. (s.f.). *Análisis de Costo Beneficio*.
<https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Benefit-Cost-Analysis.html>

Niebel, B. y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*. (12ª ed.). Mcgraw-Hill.

Organización Internacional de Normalización. (2012). *Métodos cuantitativos en la mejora de procesos Seis Sigma* (UNE-ISO 13053-2). AENOR.

Palmer, G. (2015). *¡Bienvenido a la documentación de Cuel!*.
<https://ciw.readthedocs.io/cy/latest/>

Peiro, A. (s.f.). Riesgo país. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/riesgo-pais.html#referencia>

Pérez, C. (2011). *Mejoramiento de los procesos productivos de la empresa ACCECOL LTDA*. [Tesis de licenciatura publicada]. Universidad Industrial de Santander.

PlasticsTechnology. (s.f.). Knowlodge Center Profile Extrusion.

<https://www.ptonline.com/knowledgecenter/profile-extrusion/profile-extrusion-fundamentals/history-and-fundamentals-of-extrusion>

Python Software Foundation (2022). *Guía para principiantes*.

<https://wiki.python.org/moin/FrontPage>

Rajadell, M. y Sánchez, J. (2010) “LEAN MANUFACTURING La evidencia de una necesidad”.

Ediciones Diaz de Santos.

Ramírez, A. (2015) *Reducción del desperdicio del proceso de extrusión de cobre en una empresa del sector metalmeccánico* [Tesis licenciatura publicada]. Universidad San-Buena Aventura.

Ramírez, C. (2011). *Ergonomía y Productividad*. (2a. ed.). México: Editorial Limusa.

Ramírez, P. (26 de agosto de 2022). *Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos*.

Economía3. <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>

Recuero, P. (20 de marzo de 2018). *Python para todos (2): ¿Qué son los Jupyter Notebooks?*.

Telefonica Tech. <https://empresas.blogthinkbig.com/python-para-todos-2-jupyternotebook/>

Resinplast (s.f.). <http://www.resinplast.com.pe/>

Sanchis, R. (s.f). *Diagramación de procesos*. Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universidad Politécnica de Valencia.

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144115/Sanchis%20-](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144115/Sanchis%20-%20Diagramaci%C3%B3n%20de%20Procesos.pdf?sequence=1#:~:text=Fuente%3A%20Elaboraci%C3%B3n%20Propia.-)

[%20Diagramaci%C3%B3n%20de%20Procesos.pdf?sequence=1#:~:text=Fuente%3A%20Elaboraci%C3%B3n%20Propia.-](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144115/Sanchis%20-%20Diagramaci%C3%B3n%20de%20Procesos.pdf?sequence=1#:~:text=Fuente%3A%20Elaboraci%C3%B3n%20Propia.-)

[0Elaboraci%C3%B3n%20Propia.-](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144115/Sanchis%20-%20Diagramaci%C3%B3n%20de%20Procesos.pdf?sequence=1#:~:text=Fuente%3A%20Elaboraci%C3%B3n%20Propia.-)

,Cursograma%20Anal%3%ADtico,acci%3%B3n%20y%20las%20distancias%20recorridas.

Santafe. S. (09 de abril de 2022). *¿Qué es una gráfica Boxplot?*. Rpubs by RStudio.
<https://rpubs.com/montejo/887521>

Soporte técnico de Minitab 18. (2022). *¿Qué es un nivel de confianza?*.
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-confidence-level/#:~:text=El%20nivel%20de%20confianza%20representa,confianza%20de%2095%25%20funciona%20adecuadamente.>

Soporte técnico de Minitab 18. (2022). Interpretar el margen de error para Tamaño de la muestra para estimación. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/power-and-sample-size/how-to/sample-size/sample-size-for-estimation/interpret-the-results/margin-of-error/>

Soporte técnico de Minitab 18. (2022). Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/graphs/boxplot/interpret-the-results/key-results/>

Soporte técnico de Minitab 18. (2022). Interpretar los resultados clave para Histograma. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/graphs/histogram/interpret-the-results/key-results/>

Statologos. (2022). Cómo realizar una prueba de Jarque-Bera en Python. Recuperado el 20 de diciembre del 2022 de <https://statologos.com/jarque-bera-test-python/>

Stincer, J. (2012). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. Red Tercer Milenio.

Tecnología de los plásticos. (2011). *Aditivos y rellenos para polímeros*.

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/02/aditivos-y-rellenos-para-polimeros.html#:~:text=Aditivos%20y%20rellenos%3A%20Son%20los,que%20les%20proporcionan%20caracter%C3%ADsticas%20especiales>

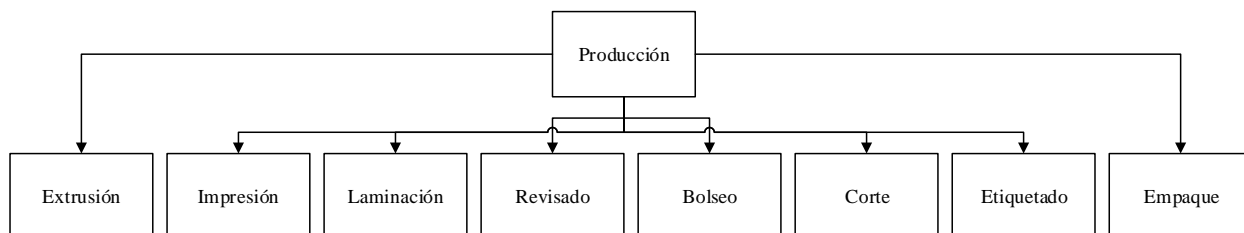
Tecnología de los plásticos. (2011). *Extrusión de materiales plásticos*.

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/02/aditivos-y-rellenos-para-polimeros.html#:~:text=Aditivos%20y%20rellenos%3A%20Son%20los,que%20les%20proporcionan%20caracter%C3%ADsticas%20especiales>

Vallejos, H y Chilinquina, M. (2017). *Costos Modalidad Órdenes de Producción*. . Universidad técnica del Norte.

ANEXOS

Anexo A. Diagrama del proceso de producción con las áreas que lo conforman.



Anexo B. Simulación del proceso actual de extrusión con Python.

Figura B1. Proceso actual


```

routing=[[0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]],
number_of_servers=[1, 2, 1, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2]
)

```

```

In [68]: ciw.seed(1)
         Q = ciw.Simulation(N)
         Q.simulate_until_max_time(1440)

```

```

In [69]: #Los registros de datos recopilados (get_all_records)
         import pandas as pd
         recs = Q.get_all_records()
         a = pd.DataFrame(recs)
         a

```

```

Out[69]:

```

	id_number	customer_class	original_customer_class	node	arrival_date	waiting_time	service_start_date	service_time	service_end_date	time_blocked	exit_date	destination	queue_size_at_arrival	q
0	838	0	0	1	270.0	0.0	270.0	8.8	278.8	0.0	278.8	2	0	
1	870	0	0	1	280.0	0.0	280.0	8.8	288.8	0.0	288.8	2	0	
2	902	0	0	1	290.0	0.0	290.0	8.8	298.8	0.0	298.8	2	0	
3	931	0	0	1	300.0	0.0	300.0	8.8	308.8	0.0	308.8	2	0	
4	966	0	0	1	310.0	0.0	310.0	8.8	318.8	0.0	318.8	2	0	
...
3129	4485	0	0	11	1431.0	0.0	1431.0	3.7	1434.7	0.0	1434.7	-1	1	
3130	302	0	0	9	98.0	241.0	339.0	5.2	344.2	0.0	344.2	10	94	
3131	302	0	0	10	344.2	1072.4	1416.6	17.2	1433.8	0.0	1433.8	11	126	
3132	302	0	0	11	1433.8	0.0	1433.8	3.7	1437.5	0.0	1437.5	-1	1	
3133	4492	0	0	11	1434.0	0.7	1434.7	3.7	1438.4	0.0	1438.4	-1	2	

3134 rows × 16 columns

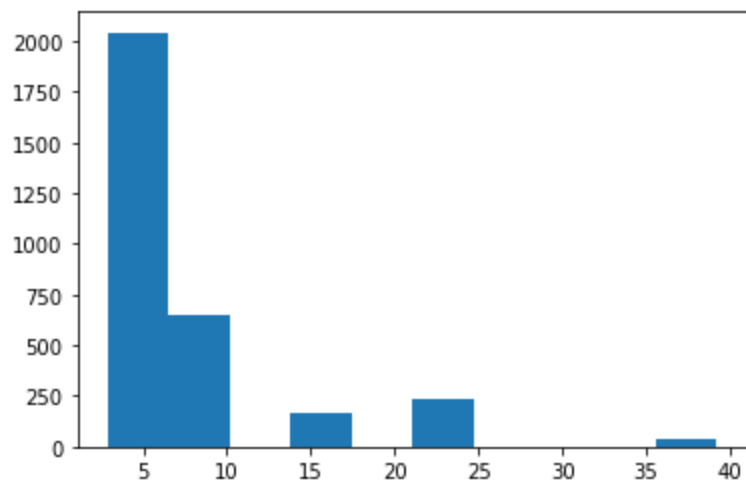
```

In [70]: #Lista de duraciones del servicio
         servicetimes = [r.service_time for r in recs]
         #servicetimes
         #Lista de esperas
         waits = [r.waiting_time for r in recs]
         #waits

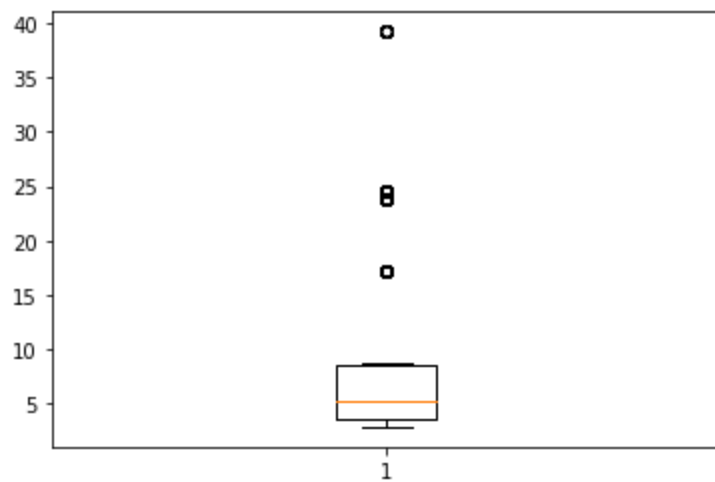
```



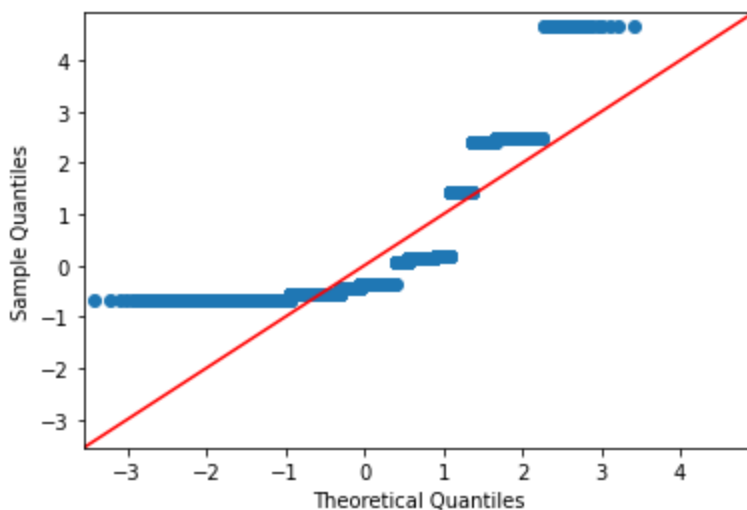
```
In [71]: import matplotlib.pyplot as plt  
plt.hist(servicetimes);
```



```
In [72]: plt.boxplot(servicetimes);
```



```
In [73]: import statsmodels.api as sm
sm.qqplot(a["service_time"], fit=True, line="45")
plt.show()
```

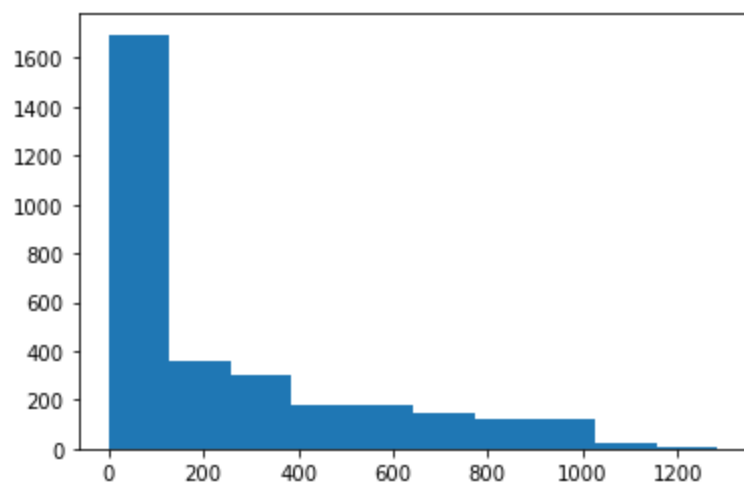


```
In [74]: #El test de Jarque-Bera se usa en más de 50 datos
#H0 : La distribución es normal p >= 0,05
#H1: La distribución no es normal p < 0,05
```

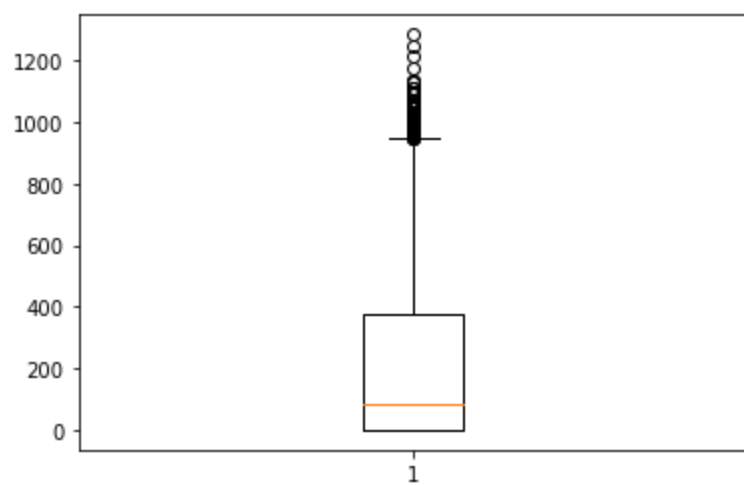
```
from scipy import stats
stats.jarque_bera(a["service_time"])
```

```
Out[74]: Jarque_beraResult(statistic=6628.947682904597, pvalue=0.0)
```

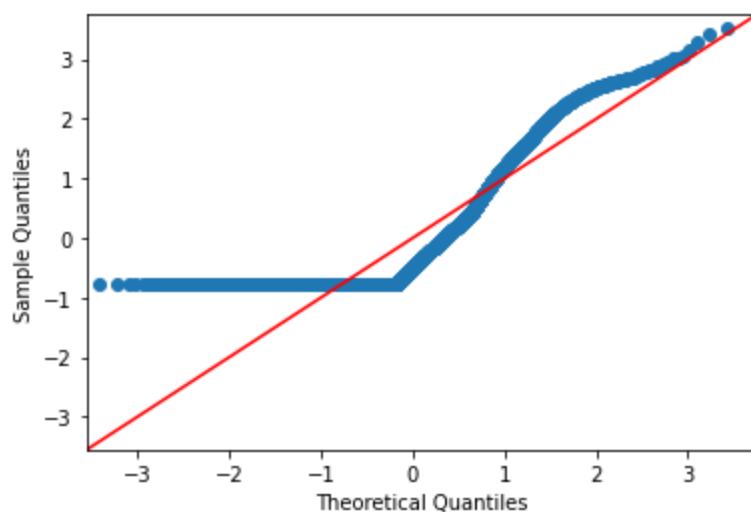
```
In [75]: plt.hist(waits);
```



```
In [76]: plt.boxplot(waits);
```



```
In [77]: import statsmodels.api as sm
sm.qqplot(a["waiting_time"], fit=True, line="45")
plt.show()
```



```
In [78]: #El test de Jarque-Bera se usa en más de 50 datos
#H0 : La distribución es normal  $p \geq 0,05$ 
#H1: La distribución no es normal  $p < 0,05$ 
```

```
from scipy import stats
stats.jarque_bera(a["waiting_time"])
```

```
Out[78]: Jarque_beraResult(statistic=777.8481418348063, pvalue=0.0)
```

```
In [92]: #ANOVA
from scipy.stats import f_oneway
stats.f_oneway (a["service_time"], a["waiting_time"])
```

```
Out[92]: F_onewayResult(statistic=1755.0196723731992, pvalue=0.0)
```

```
In [92]: #ANOVA
         from scipy.stats import f_oneway
         stats.f_oneway (a["service_time"], a["waiting_time"])
```

```
Out[92]: F_onewayResult(statistic=1755.0196723731992, pvalue=0.0)
```

```
In [79]: #Duración media
         mean_service_time = sum(servicetimes) / len(servicetimes)
         mean_service_time
```

```
Out[79]: 7.573548181238356
```

```
In [80]: #Espera media
         mean_waiting_time = sum(waits) / len(waits)
         mean_waiting_time
```

```
Out[80]: 230.99132099553236
```

```
In [81]: Q.transitive_nodes[0].server_utilisation * 100
```

```
Out[81]: 87.38888888888863
```

```
In [82]: Q.transitive_nodes[1].server_utilisation * 100
```

```
Out[82]: 99.6875
```

```
In [83]: Q.transitive_nodes[2].server_utilisation * 100
```

```
Out[83]: 99.79166666666667
```

```
In [84]: Q.transitive_nodes[3].server_utilisation * 100
```

```
Out[84]: 99.51388888888889
```

```
In [85]: Q.transitive_nodes[4].server_utilisation * 100
```

```
Out[85]: 99.47916666666666
```

```
In [86]: Q.transitive_nodes[5].server_utilisation * 100
```

```
Out[86]: 99.54166666666666
```

```
In [87]: Q.transitive_nodes[6].server_utilisation * 100
```

```
Out[87]: 99.58333333333333
```

```
In [88]: Q.transitive_nodes[7].server_utilisation * 100
```

```
Out[88]: 54.0729166666666934
```

```
In [89]: Q.transitive_nodes[8].server_utilisation * 100
```

```
Out[89]: 99.89583333333333
```

```
In [90]: Q.transitive_nodes[9].server_utilisation * 100
```

```
Out[90]: 99.53472222222221
```

```
In [91]: Q.transitive_nodes[10].server_utilisation * 100
```

```
Out[91]: 82.75000000000005
```

Fuente: Python (2022).

Anexo C. Simulación del proceso esperado de extrusión con Python.

Figura C1. Proceso esperado


```

routing=[[0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0],
         [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]],
number_of_servers=[1, 2, 1, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2]
)

```

```

In [57]: ciw.seed(1)
         Q = ciw.Simulation(N)
         Q.simulate_until_max_time(1440)

```

```

In [58]: #Los registros de datos recopilados (get_all_records)
         import pandas as pd
         recs = Q.get_all_records()
         a = pd.DataFrame(recs)
         a.to_csv("recs.csv")
         a.to_excel("recs.xlsx")

```

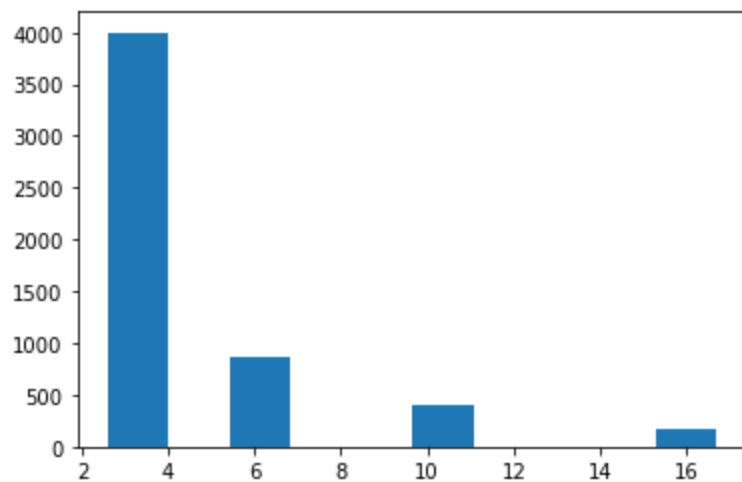
```

In [59]: #Lista de duraciones del servicio
         servicetimes = [r.service_time for r in recs]
         #servicetimes
         #Lista de esperas
         waits = [r.waiting_time for r in recs]
         #waits

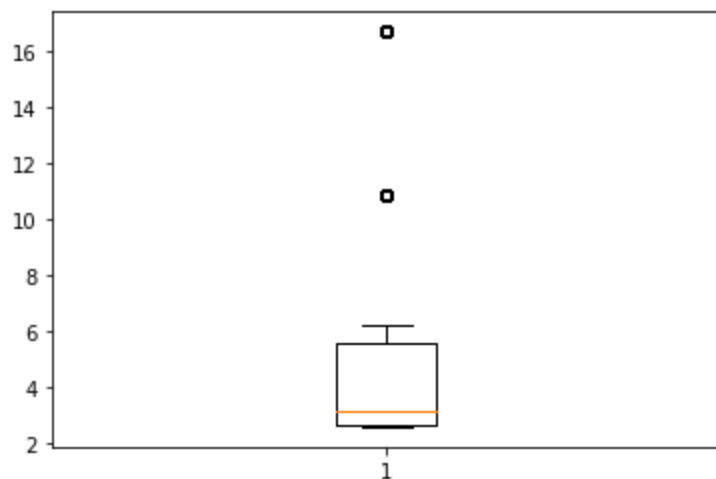
```



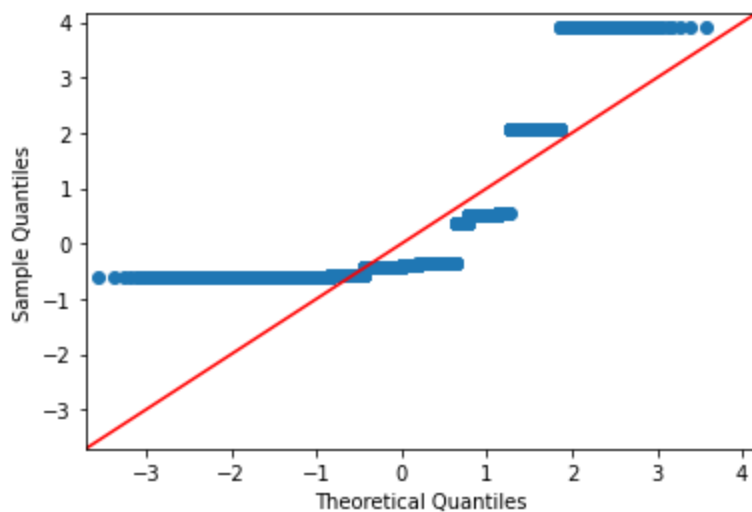
```
In [60]: import matplotlib.pyplot as plt  
plt.hist(servicetimes);
```



```
In [61]: plt.boxplot(servicetimes);
```



```
In [62]: import statsmodels.api as sm
sm.qqplot(a["service_time"], fit=True, line="45")
plt.show()
```

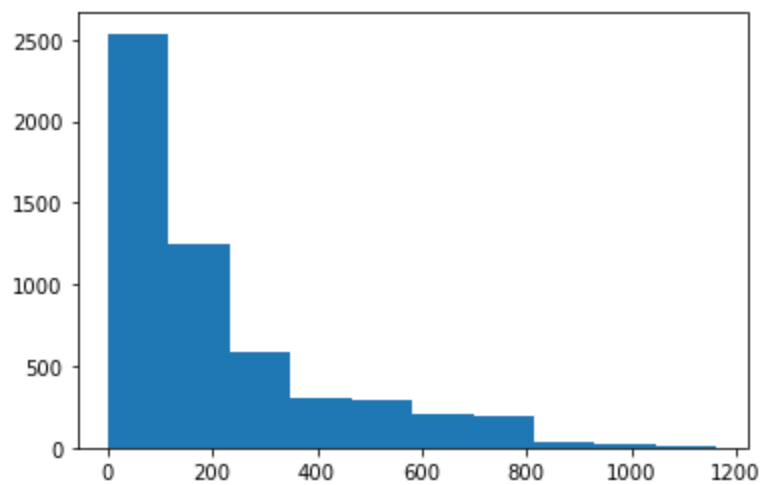


```
In [63]: #El test de Jarque-Bera se usa en más de 50 datos
#H0 : La distribución es normal p >= 0,05
#H1: La distribución no es normal p < 0,05
```

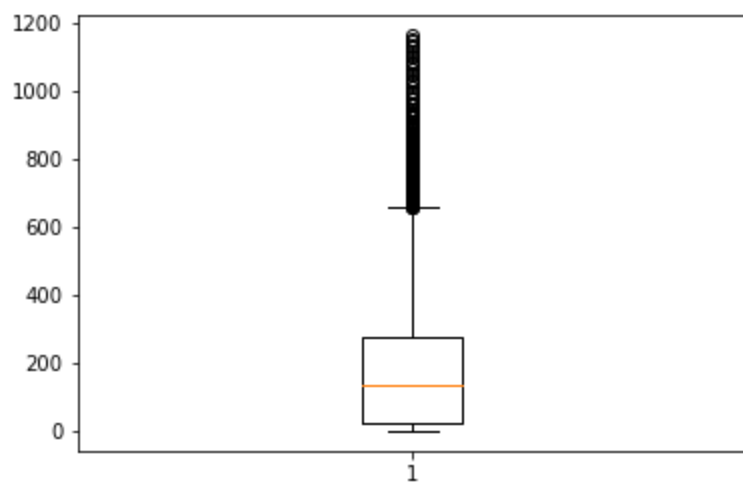
```
from scipy import stats
stats.jarque_bera(a["service_time"])
```

```
Out[63]: Jarque_beraResult(statistic=13152.416203462897, pvalue=0.0)
```

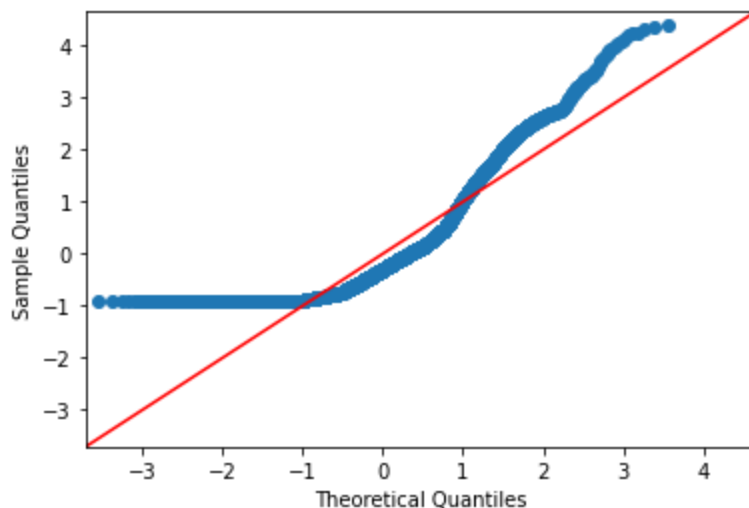
```
In [64]: plt.hist(waits);
```



```
In [65]: plt.boxplot(waits);
```



```
In [66]: import statsmodels.api as sm
sm.qqplot(a["waiting_time"], fit=True, line="45")
plt.show()
```



```
In [67]: #El test de Jarque-Bera se usa en más de 50 datos
#H0 : La distribución es normal  $p \geq 0,05$ 
#H1: La distribución no es normal  $p < 0,05$ 
```

```
from scipy import stats
stats.jarque_bera(a["waiting_time"])
```

```
Out[67]: Jarque_beraResult(statistic=2247.9593026256985, pvalue=0.0)
```

```
In [81]: #ANOVA
from scipy.stats import f_oneway
stats.f_oneway (a["service_time"], a["waiting_time"])
```

```
Out[81]: F_onewayResult(statistic=4243.347933775105, pvalue=0.0)
```

```
In [68]: #Duración media  
mean_service_time = sum(servicetimes) / len(servicetimes)  
mean_service_time
```

```
Out[68]: 4.44532916513417
```

```
In [69]: #Espera media  
mean_waiting_time = sum(waits) / len(waits)  
mean_waiting_time
```

```
Out[69]: 198.76114380286893
```

```
In [70]: Q.transitive_nodes[0].server_utilisation * 100
```

```
Out[70]: 61.569444444444471
```

```
In [71]: Q.transitive_nodes[1].server_utilisation * 100
```

```
Out[71]: 99.6875
```

```
In [72]: Q.transitive_nodes[2].server_utilisation * 100
```

```
Out[72]: 99.79166666666667
```

```
In [73]: Q.transitive_nodes[3].server_utilisation * 100
```

```
Out[73]: 99.42361111111111
```

```
In [74]: Q.transitive_nodes[4].server_utilisation * 100
```

```
Out[74]: 99.47916666666666
```

```
In [75]: Q.transitive_nodes[5].server_utilisation * 100
```

```
Out[75]: 99.27777777777777
```

```
In [76]: Q.transitive_nodes[6].server_utilisation * 100
```

```
Out[76]: 99.58333333333333
```

```
In [77]: Q.transitive_nodes[7].server_utilisation * 100
```

```
Out[77]: 63.9131944444445075
```

```
In [78]: Q.transitive_nodes[8].server_utilisation * 100
```

```
Out[78]: 99.89583333333333
```

```
In [79]: Q.transitive_nodes[9].server_utilisation * 100
```

```
Out[79]: 99.68055555555556
```

```
In [80]: Q.transitive_nodes[10].server_utilisation * 100
```

```
Out[80]: 99.62152777777777
```

Fuente: Python (2022).

Anexo D. Validación cuantitativa de los desperdicios Según Rajadell y Sánchez (2010) cada tipo de desperdicio tiene una lista de características que permite identificar con facilidad la presencia de estos en un proceso productivo. Siguiendo estas características se logra desarrollar un instrumento para tener una valoración cuantitativa.





Tabla D1. Herramienta para validación de desperdicio.

MUDA	Característica	Puntaje				
		0	1	2	3	4
Sobreproducción	Existencia de mucha cantidad de stock.					
	Flujo de producción no balanceado o nivelado.					
	Presión sobre la producción para aumentar la utilización.					
	No hay prisa para atacar los problemas de calidad.					
	Se fabrica más de lo necesario					
	Total:					
Espera	El operario espera a que la máquina termine.					

	La máquina espera a que el operario acabe una tarea pendiente.						
	Un operario espera a otro operario.						
	Las materias primas no están listas antes de iniciar.						
	Paradas no planificadas.						
	Total:						
Transporte	Se mueve material a distancias superiores a un metro.						
	Se mueve material pesado de forma manual.						
	El diseño de planta desfavorece la movilización secuencial.						
	Utilizan equipo especial para transportar el producto.						
	El material es difícil de manipular						
	Total:						
Movimientos	Desorden en el área de trabajo.						
	Operarios no conocen el proceso claramente.						
	Las herramientas no están ordenadas en el mismo lugar.						
	Se mueve material pesado de forma manual.						
	Se hace una misma actividad varias veces en corto tiempo						
	Total:						
Sobre proceso	No existe estandarización de las mejores técnicas o procedimientos.						
	Maquinaria mal diseñada o capacidad calculada incorrectamente.						
	Hay actividades innecesarias durante el proceso que se podrían evitar						
	Excesiva información (que nadie utiliza y que no sirve para nada).						
	Falta de especificaciones y ejemplos claros de trabajo.						
	Total:						
Inventario	Encubren los inventarios de materia prima u otros.						
	Falta de inventarios controlados.						
	El proveedor se retarda en la entrega de Materia Prima.						
	Excesivo equipo de manipulación (carretillas elevadoras, etc.).						
	Almacenan producto terminado por muchos días.						
	Total						
Producto Defectuoso	Pérdida de tiempo, recursos materiales y dinero.						
	Recursos humanos adicionales para operaciones de inspección y repetición de trabajos.						
	Calidad cuestionable.						

Espacio y herramientas extra para el retrabajo.									
Maquinaria poco fiable.									
Escala									
Poco	Muy Poco	Algunas veces	Casi siempre	Siempre					
0	1	2	3	4					

Tabla D2. Escala de presencia de desperdicio.

	80% - 100%	16 - 20 puntos	Alta presencia de desperdicio
	55% - 75%	11 - 15 puntos	Regular presencia de desperdicio
	30% - 50%	6 - 10 puntos	Baja presencia de desperdicio
	0 - 25%	0 - 5 puntos	Muy baja presencia de desperdicio

Anexo E. Clasificación de las causas potenciales.

Tabla E1. Datos

CATEGORÍA A	CATEGORÍA B	M1 Sobreproducción	M2 Espera	M3 Transporte	M4 Movimiento	M5 Sobreproceso	M6 Inventario	M7 Defecto	MUDAS IMPACTADAS	% ACUMULADO	MUDA	CAUSA POTENCIAL
PRODUCCIÓN	Proceso	X							1	3%	Sobreproducción	Reclamos del cliente interno por anchos inadecuados.
CALIDAD	Documental	X				X		X	3	10%	Sobreproducción	Especificaciones de calidad y tolerancias no son indicadas en orden de trabajo a menudo
PRODUCCIÓN	Proceso		X	X	X		X		4	20%	Espera	Solicitan los materiales tarde.
PRODUCCIÓN	Documental		X	X				X	3	28%	Espera	Sacos sin etiqueta o mal etiquetados.
PRODUCCIÓN	Proceso		X			X			2	33%	Espera	Estañones no aptos.
PRODUCCIÓN	Recursos		X						1	35%	Espera	Falta de personal suplente en extrusión.
PRODUCCIÓN	Proceso		X	X	X		X		4	45%	Transporte	Descoordinación entre extrusión y producción.
PRODUCCIÓN	Proceso			X					1	48%	Transporte	El operario de corte de cores no puede abastecer extrusión.
CULTURA	Recursos		X	X	X	X	X	X	6	63%	TODAS	Ausencia de orden en el lugar de trabajo.
PRODUCCIÓN	Proceso			X	X	X			3	70%	Sobre proceso	Inexistencia de la valoración de una técnica estándar para la formación del globo.
PRODUCCIÓN	Proceso		X	X	X	X			4	80%	Sobre proceso	Uso de órdenes y programas físicos.
PRODUCCIÓN	Proceso				X	X			2	85%	Sobre proceso	Ausencia de método estándar para la producción de órdenes.
PRODUCCIÓN	Documental						X		1	88%	Inventarios	Ventas detiene Ordenes con el inventario en producción.
PRODUCCIÓN	Proceso						X		1	90%	Inventarios	Retención de resinas sobrantes
CALIDAD	Documental						X	X	2	95%	Inventarios	Inexistencia de control de bobina por estatus
CALIDAD	Documental							X	1	98%	Defectos	Condiciones de la máquina y producto terminado no son indicadas en la orden de
PRODUCCIÓN	Proceso		X						1	100%		Plan de mantenimiento preventivo no es cumplido.
									40			

Anexo F. Cotizaciones de los materiales consumibles en las propuestas.

Figura F1. Costo estañón de plástico

ESTAÑÓN PLASTICO APERTURA TOTAL

₡30,000 + I.V.A.

- CAPACIDAD 55GLS-208 LTS
- ARO METALICO DE SEGURIDAD

ESPECIFICACIONES

- DIMENSIONES:
 - 56CM DIAMETRO 90CM ALTO
- COLOR:
 - NEGRO -CELESTE -AZUL

Nota. Adaptado de REENVASA, Reutilización de envases
(<https://www.renvasa.com/producto/estanon-plastico-apertura-total/>)

Figura F2. Costo de pizarra

Office DEPOT.

Erial B.Q., S.A.

ESCAZÚ AUTOPISTA PROSPERO FERNÁNDEZ

TEL. CIA. 01-800-9100000 o 208-4000
FAX CIA. 01-800-9150000 o 208-4060
CED. JURIDICA 3-101-295184
www.officedepot.co.cr

COTIZACION

N° Cliente: 12578
Cliente: RESINPLAST S.A.
Contacto: ESTEFANY UGALDE
Dirección: PARQUE INDUSTRIAL INDUPARK COYOL ALAJUELA
ALAJUELA, ALAJUELA

E-mail: FACT_ELECTRONICA@RESINPLASTCR.COM
Vendedor: SHIRLEY CALVO BLANCO,415

Teléfono para Confirmar FAX:
FAX Cliente:

Cotización: 808534
Teléfono: 5068868537
Fecha: 2021/12/22

Operador PAULA GONZALEZ SANCHEZ,6408

0001 de 0001

No Art. Cliente	SKU	Descripción del Producto	UND	San Pend.	Precio	Total
	1785	PIZARRON BLANCO ALFRA 90x120	PZA	1	38929.20354	38929.20

Figura F3. Costo de Tablet

Cantidad	Codigo	Descripción	Precio unitario	CONTADO
1	1008010151	TABLET LENOVO TAB P11	€ 325 365,00	325 365,00
		TABLET MODELO ZA7S0159MX, P11 11IN SNAPDRr 662 6GB RAM 128GB ANDROID GREY	€ -	
			€ -	

Figura F4. Costo de etiquetas

CANTIDAD	Características del producto	PRECIO X MILLAR	TOTAL	TOTAL + IV
5 000	ETIQUETA APROBADO GUARENTEMA RECHAZADO MEDIDA 4X5.87in TROQUEL E-305 SEMIGLOS+COLORES VARIOS +	€24,00	€ 120 000,00	€ 135 600,00

Anexo G. Cálculos de la inversión anual de seguimiento de las propuestas.

Figura G1. Datos

Inversion anual de seguimiento de propuestas							
Detalle	Año	0	1	2	3	4	5
Capacitaciones	Mano de obra directa	€0,00	€137 600,00	€144 480,00	€151 704,00	€159 289,20	€167 253,66
5S	Gastos generales	€0,00	€70 000,00	€73 500,00	€77 175,00	€81 033,75	€85 085,44
Kanban	Gastos generales	€0,00	€50 000,00	€52 500,00	€55 125,00	€57 881,25	€60 775,31
SMED	Gastos generales	€0,00	€70 000,00	€73 500,00	€77 175,00	€81 033,75	€85 085,44
Etiquetas Kanban	Materiales consumibles	€0,00	€135 600,00	€142 380,00	€149 499,00	€156 973,95	€164 822,65
Acumulado		€0,00	€463 200,00	€486 360,00	€510 678,00	€536 211,90	€563 022,50

Figura G2. Factores utilizados para el cálculo de la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR).

Cálculo TMAR	
Tasa básica pasiva Costa Rica 2023	6,44%
Tasa riesgo de inversion en Costa Rica	3,58%
S&P 500	11,03%
Tasa de rendimiento del bono del tesoro en Costa Rica	7,99%
Promedio	7%

Anexo H: Estudios de Tiempos

Tabla H1. Estudio de tiempos de la operación de Solicitud de Materia Prima.

Estudio de Tiempos "Extrusión"				Fecha: Febrero-Marzo 2022			
				Operario: Víctor y Jerry			
Operación: "Solicitud de Materia prima "		1) Revisar el programa		2) Imprimir Ordenes		3) Solicitar la Materia prima al Almacén	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	2,32	2,32	3,51	3,51	3,2	3,2
	2	2,4	2,4	3,22	3,22	3,15	3,15
	3	1,45	1,45	2,15	2,15	2,89	2,89
	4	3,01	3,01	2,59	2,59	3,47	3,47
	5	3,04	3,04	2,78	2,78	3,55	3,55
	6	2,58	2,58	3,05	3,05	3,02	3,02
	7	2,54	2,54	3,15	3,15	3,65	3,65
	8	2,96	2,96	2,87	2,87	3,1	3,1
	9	2,17	2,17	2,48	2,48	3,69	3,69
	10	3,08	3,08	3,25	3,25	3,87	3,87
TO total:		25,55		29,05		33,59	
Calificación:		100		100		100	
TN total		25,55		29,05		33,59	
Número observaciones		10		10		10	
TN promedio		2,56		2,91		3,36	
% de Holgura		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		3,45		3,92		4,53	
<i>Tiempo Observado Total:</i>			8,82 min				
<i>Tiempo Estándar Total:</i>			11,91 min				

Tabla H2. Estudio de tiempos de la operación de Preparación de Materia Prima-Resinas.

Estudio de Tiempos "Extrusión"												Fecha: Febrero - Marzo 2022			
												Operario: Víctor y Jerry			
Operación: "Preparación de Materia prima-Resinas"		1) Revisar la formulación de la orden nueva		2) Colocar los estañones para limpiar las resinas restantes		3) Abrir las tuberías de la tolva y Vaciar la resina en la tanqueta		4) Buscar estañones limpios y colocarlos en el área indicada		5) Revisar los sacos de resina y colocarlos en los estañones		6) Etiquetar cada estañon con el grado de la resina		7) Colocar las mangueras correspondientes por grado de resina	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	1,50	1,50	2,52	2,52	4,78	4,78	2,12	2,12	9,25	9,25	1,81	1,81	2,33	2,33
	2	1,85	1,85	2,65	2,65	4,55	4,55	2,15	2,15	8,55	8,55	1,52	1,52	1,56	1,56
	3	1,92	1,92	2,88	2,88	4,89	4,89	2,35	2,35	8,69	8,69	1,13	1,13	3,89	3,89
	4	2,11	2,11	2,30	2,30	4,15	4,15	2,69	2,69	9,10	9,10	1,85	1,85	2,21	2,21
	5	2,31	2,31	2,45	2,45	4,63	4,63	2,58	2,58	10,12	10,12	1,65	1,65	2,35	2,35
	6	1,45	1,45	2,87	2,87	4,21	4,21	2,31	2,31	9,63	9,63	1,19	1,19	1,78	1,78
	7	1,56	1,56	2,47	2,47	4,69	4,69	2,79	2,79	11,03	11,03	1,26	1,26	1,69	1,69
	8	1,75	1,75	2,88	2,88	4,63	4,63	2,56	2,56	8,75	8,75	1,57	1,57	2,12	2,12
	9	1,11	1,11	2,63	2,63	4,39	4,39	2,17	2,17	9,54	9,54	1,23	1,23	2,18	2,18
	10	1,87	1,87	3,01	3,01	4,56	4,56	2,55	2,55	9,68	9,68	1,38	1,38	1,87	1,87
TO total:		17,43		26,66		45,48		24,27		94,34		14,59		21,98	
Calificación:		100		100		100		100		100		100		100	
TN total:		17,43		26,66		45,48		24,27		94,34		14,59		21,98	
Numero observaciones		10		10		10		10		10		10		10	
TN promedio		1,74		2,67		4,55		2,43		9,43		1,46		2,20	
% de Holgura		35%		35%		35%		35%		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		2,35		3,60		6,14		3,28		12,74		1,97		2,97	
<i>Tiempo Observado Total:</i>				24,48		min									
<i>Tiempo Estándar Total:</i>				33,04		min									

Tabla H4. Estudio de tiempos de la operación de Configuración de Máquina.

Estudio de Tiempos "Extrusión"						Fecha: Febrero - Marzo 2022			
						Operario: Víctor y Jerry			
Operación: "Configuración de Máquina "		1) Ingresar códigos de resinas, espesor, ancho, velocidad, presiones y temperaturas		2) Ajustar tensiones y presiones en embobinadora		3) Llenar tolvas		4) Encender sistema IBC	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	5,23	5,23	2,15	2,15	0,5	0,5	0,42	0,42
	2	4,89	4,89	2,1	2,1	0,41	0,41	0,28	0,28
	3	4,15	4,15	2,22	2,22	0,55	0,55	0,52	0,52
	4	5,1	5,1	2,65	2,65	0,35	0,35	0,37	0,37
	5	4,65	4,65	2,43	2,43	0,25	0,25	0,29	0,19
	6	4,89	4,89	2,46	2,46	0,38	0,38	0,26	0,26
	7	5,12	5,12	2,89	2,89	0,27	0,27	0,49	0,49
	8	5,01	5,01	2,35	2,35	0,51	0,51	0,55	0,55
	9	4,55	4,55	2,79	2,79	0,21	0,21	0,34	0,34
	10	4,68	4,68	2,44	2,44	0,46	0,46	0,38	0,38
TO total:		48,27		24,48		3,89		3,9	
Calificación:		100		100		100		100	
TN total		48,27		24,48		3,89		3,8	
Numero observaciones		10		10		10		10	
TN promedio		4,83		2,45		0,39		0,38	
% de Holgura		35%		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		6,52		3,3		0,53		0,51	
<i>Tiempo Observado Total:</i>		8,05		Min					
<i>Tiempo Estándar Total:</i>		10,86		Min					

Tabla H5. Estudio de tiempos de la operación de Formación de Globo.

Estudio de Tiempos "Extrusión"										Fecha: Febrero - Marzo 2022			
Operario: Victor y Jerry													
Operación: "Formación de Globo"		1) Limpiar labio		nuevo al globo y ajustar parámetros para que suba el globo		3) Abrir tapas de tratadora		4) Jalar el material para que se valla eneborando en la extrusora y embobinadora		5) Encender tratadora		6) Ajustar rodillos y alineadores	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	6,31	6,31	5,14	5,14	0,18	1,38	6,59	6,59	0,83	0,83	2,20	2,20
	2	5,15	5,15	6,15	6,15	1,15	1,45	7,13	7,13	0,95	0,95	2,33	2,33
	3	4,45	4,45	5,87	5,87	1,14	1,40	7,51	7,505	1,1	1,1	2,45	2,45
	4	5,45	5,45	6,01	6,01	1,27	1,27	8,11	9,11	0,87	0,87	2,16	2,16
	5	4,78	4,78	6,16	6,16	1,35	1,35	6,8	6,8	1,12	1,12	2,55	2,55
	6	6,12	6,12	5,55	5,55	1,23	1,54	7,4	7,4	1	1	2,39	2,39
	7	5,54	5,54	5,63	5,63	1,19	1,44	8,6	8,6	0,89	0,89	2,50	2,50
	8	5,89	5,89	6,22	6,22	1,28	1,39	8,8	8,8	0,94	0,94	2,67	2,67
	9	4,66	4,66	5,49	5,49	1,33	1,33	9,02	9,02	1,14	1,14	2,22	2,22
	10	6,01	6,01	6,81	6,81	1,12	1,51	7,51	7,51	1,29	1,29	2,78	2,78
TO total:		54,36		59,03		11,24		77,47		8,99		24,25	
Calificación:		100		100		100		100		100		100	
TN total		54,36		59,03		14,06		78,47		8,99		24,25	
Numero observaciones		10		10		10		10		10		10	
TN promedio		5,44		5,90		1,41		7,85		1,00		2,43	
% de Holgura		35%		35%		35%		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		7,34		7,97		1,90		10,59		1,35		3,27	
Distancia recorrida						24,52 m		73,56 m					
<i>Tiempo Observado Total:</i>				23,63	min								
<i>Tiempo Estándar Total:</i>				32,42	min								

Tabla H6. Estudio de tiempos de la operación de Calibración.

Estudio de Tiempos "Extrusión"				Fecha: Febrero - Marzo 2022			
				Operario: Victor y Jerry			
Operación: "Calibración"		1) Revisar anchos		2) Revisar espesor		3) Revisar tratado	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	2,56	2,56	1,81	1,81	0,50	0,50
	2	2,22	2,22	1,65	1,65	0,31	0,31
	3	2,67	2,67	1,98	1,98	0,45	0,45
	4	2,19	2,19	1,75	1,75	0,34	0,34
	5	2,28	2,28	1,69	1,69	0,29	0,29
	6	2,55	2,55	1,96	1,96	0,36	0,36
	7	2,78	2,78	1,83	1,83	0,41	0,41
	8	2,26	2,26	1,49	1,49	0,33	0,33
	9	2,17	2,17	1,73	1,73	0,40	0,40
	10	2,71	2,71	1,83	1,83	0,28	0,28
TO total:		24,39		17,72		3,67	
Calificación:		100		100		100	
TN total		24,39		17,72		3,67	
Numero observaciones		10		10		10	
TN promedio		2,44		1,77		0,37	
% de Holgura		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		3,29		2,39		0,50	
<i>Tiempo Observado Total:</i>				4,58 min			
<i>Tiempo Estándar Total:</i>				6,18 min			

Tabla H7. Estudio de tiempos de la operación de Desmontaje de bobinas.

Estudio de Tiempos "Extrusión"								Fecha: Febrero - Marzo 2022			
Operario: Victor y Jeny											
Operación: "Desmontaje de bobinas"		1) Cortar lámina y Bajar la bobina		2) Rollo Set up: Quitar con la cutter el material para desecharlo.		3) Rollo MP: Colocar plástico adhesivo		4) Sacar el aire y quitar la barra de la embobinadora		5) Colocar cores en embobinadora y encintarlos	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	0,26	0,26	2,35	2,35	1,10	1,10	0,21	0,21	4,10	4,10
	2	0,28	0,30	2,21	2,21	1,08	1,08	0,26	0,26	4,25	4,25
	3	0,25	0,25	2,16	2,16	0,98	0,98	0,34	0,34	5,05	5,05
	4	0,28	0,28	2,27	2,27	1,26	1,26	0,28	0,28	4,12	4,12
	5	0,25	0,30	2,45	2,45	1,19	1,19	0,33	0,33	4,89	4,89
	6	0,27	0,27	2,61	2,61	1,22	1,22	0,29	0,29	3,96	3,96
	7	0,26	0,26	2,32	2,32	1,30	1,30	0,22	0,22	5,15	5,15
	8	0,25	0,25	2,29	2,29	1,14	1,14	0,28	0,28	4,22	4,22
	9	0,27	0,27	2,36	2,36	1,21	1,21	0,32	0,32	4,95	4,95
	10	0,28	0,28	2,40	2,40	1,25	1,25	0,39	0,39	4,88	4,88
TO total:		2,65		23,42		11,73		2,92		45,57	
Calificación:		100		100		100		100		100	
TN total		2,72		23,42		11,73		2,92		45,57	
Numero observaciones		10		10		10		10		10	
TN promedio		0,27		2,34		1,17		0,29		4,56	
% de Holgura		35%		35%		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		0,37		3,16		1,58		0,39		6,15	
<i>Tiempo Observado Total:</i>				8,63						min	
<i>Tiempo Estándar Total:</i>				11,66						min	

Tabla H8. Estudio de tiempos de la operación de Pesado.

Estudio de Tiempos "Extrusión"				Fecha: Febrero - Marzo 2022			
				Operario: Victor y Jerry			
Operación:"Pesado"		1) Colocar bobinas sobre la tarima		2) Trasladar bobina a la pesa		3) Pesar bobina	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	2,20	2,20	0,38	0,38	0,35	0,35
	2	2,23	2,23	0,40	0,40	0,31	0,31
	3	2,16	2,16	0,35	0,35	0,33	0,33
	4	2,10	2,10	0,32	0,32	0,36	0,36
	5	2,13	2,13	0,39	0,39	0,30	0,30
	6	2,20	2,20	0,40	0,40	0,31	0,31
	7	2,19	2,19	0,35	0,35	0,36	0,36
	8	2,16	2,16	0,31	0,31	0,35	0,35
	9	2,09	2,09	0,39	0,39	0,31	0,31
	10	2,17	2,17	0,37	0,37	0,33	0,33
TO total:		21,63		3,66		3,31	
Calificación:		100		100		100	
TN total		21,63		3,66		3,31	
Numero observaciones		10		10		10	
TN promedio		2,16		0,37		0,33	
% de Holgura		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		2,92		0,49		0,45	
Distancia recorrida				8 m			
<i>Tiempo Observado Total:</i>			2,86 min				
<i>Tiempo Estándar Total:</i>			3,86 min				

Tabla H9. Estudio de tiempos de la operación de Embalaje.

Estudio de Tiempos "Extrusión"				Fecha: Febrero - Marzo 2022			
				Operario: Victor y Jerry			
Operación: "Emlabaje"		1) Flejar		2) Configurar etiquetadora		3) Etiquetar bobinas	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	3,45	3,45	1,10	1,10	0,33	0,33
	2	3,89	3,89	1,15	1,15	0,32	0,32
	3	3,66	3,66	1,22	1,22	0,28	0,28
	4	4,01	4,01	1,14	1,14	0,29	0,29
	5	3,69	3,69	1,20	1,20	0,38	0,38
	6	3,48	3,48	1,19	1,19	0,36	0,36
	7	3,97	3,97	1,30	1,30	0,24	0,24
	8	4,10	4,10	1,15	1,15	0,39	0,39
	9	3,39	3,39	1,28	1,28	0,32	0,32
	10	3,55	3,55	1,32	1,32	0,27	0,27
TO total:		37,19		12,05		3,18	
Calificación:		100		100		100	
TN total		37,19		12,05		3,18	
Numero observaciones		10		10		10	
TN promedio		3,72		1,21		0,32	
% de Holgura		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		5,02		1,63		0,43	
Distancia recorrida				8 m			
<i>Tiempo Observado Total:</i>				5,24 min			
<i>Tiempo Estándar Total:</i>				7,08 min			

Tabla H10. Estudio de tiempos de la operación de Almacenamiento.

Estudio de Tiempos "Extrusión"		Fecha: Febrero - Marzo 2022	
		Operario: Victor y Jerry	
Operación: "Almacenamiento"		1) Trasladar la tarima al almacén y devolverse	
Nota	Ciclo	TO	TN
	1	15,45	15,45
	2	16,26	16,26
	3	17,40	17,40
	4	18,38	18,38
	5	19,12	19,12
	6	17,69	17,69
	7	18,22	18,22
	8	15,86	15,86
	9	16,55	16,55
	10	17,30	17,30
TO total:		172,23	
Calificación:		100	
TN total		172,23	
Numero observaciones		10	
TN promedio		17,22	
% de Holgura		35%	
Tiempo Estándar		23,25	
Distancia recorrida		478 m	
<i>Tiempo Observado Total:</i>		17,22 min	
<i>Tiempo Estándar Total:</i>		23,25 min	

Tabla H11. Estudio de tiempos de la operación de Limpieza.

Estudio de Tiempos "Extrusión"				Fecha: Febrero - Marzo 2022			
				Operario: Victor y Jerry			
Operación: "Limpieza"		1) Colocar en bolsas el material de set up		2) Pesar las bolsas y Anotar el peso en la bolsa con marcador		3) Almacenar las bolsas en la tanqueta de reciclaje	
Nota	Ciclo	TO	TN	TO	TN	TO	TN
	1	1,58	1,58	0,89	0,89	1,50	1,50
	2	1,61	1,61	0,82	0,82	1,30	1,30
	3	1,63	1,63	0,91	0,91	1,25	1,25
	4	1,45	1,45	0,78	0,78	1,39	1,39
	5	1,69	1,69	0,91	0,91	1,18	1,18
	6	1,52	1,52	0,85	0,85	1,26	1,26
	7	1,48	1,48	0,73	0,73	1,21	1,21
	8	1,70	1,70	0,78	0,78	1,19	1,19
	9	1,55	1,55	0,88	0,88	1,26	1,26
	10	1,57	1,57	0,90	0,90	1,38	1,38
TO total:		15,78		8,45		12,92	
Calificación:		100		100		100	
TN total		15,78		8,45		12,92	
Numero observaciones		10		10		10	
TN promedio		1,58		0,85		1,29	
% de Holgura		35%		35%		35%	
Tiempo Estándar		2,13		1,14		1,74	
Distancia recorrida				4 m		4 m	
<i>Tiempo Observado Total:</i>				3,72 min			
<i>Tiempo Estándar Total:</i>				5,02 min			

Tabla H12. Definición de Holguras para el cálculo del tiempo estándar.

Holguras Constantes	Necesidades personales	5%
	Fatiga Básica	5%
Holguras Variables	Uso de fuerza	15%
	Mala Iluminación	5%
	Nivel de Ruido	5%
% holgura total		35%

Anexo III

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS
 FINALES DE GRADUACIÓN** Página | 28
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
 (Trabajo Individual)

Alajuela, 2 de mayo del 2023.

Señores

Vicerrectoría de Investigación

Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Yo Jazmin Villegas Vega portador (a) de la cédula de identidad número 207450878. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulado:

Propuesta para reducir el desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica durante el periodo 2021-2022.

El cual se presenta bajo la modalidad de:

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 11/04/2023, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede Central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo	SI	No
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	X	
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X	
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X	
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X	



Consulta electrónica con texto protegido	X	
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X	
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X	

Página | 29

Por otra parte declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante

Cédula 307450878

Día: 02 de Mayo del 2013