



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE
MAQUINARIA PARA RECUPERADO EN LÍNEA Y REDUCCIÓN DE DESPERDICIO POR
REFILE EN EMPRESA DE EMPAQUES FLEXIBLES UBICADA EN EL MUNICIPIO DE
AMATITLÁN, GUATEMALA**

Allan Daniel Bonilla Martínez

Asesorado por el MSc. Ing. Luis Estuardo Mansilla Guillen

Guatemala, mayo de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE
MAQUINARIA PARA RECUPERADO EN LÍNEA Y REDUCCIÓN DE DESPERDICIO POR
REFILE EN EMPRESA DE EMPAQUES FLEXIBLES UBICADA EN EL MUNICIPIO DE
AMATITLÁN, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALLAN DANIEL BONILLA MARTINEZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS ESTUARDO MANSILLA GUILLEN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Jerez Juarez
EXAMINADOR	Ing. Oswin Antonio Melgar Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE
MAQUINARIA PARA RECUPERADO EN LÍNEA Y REDUCCIÓN DE DESPERDICIO POR
REFILE EN EMPRESA DE EMPAQUES FLEXIBLES UBICADA EN EL MUNICIPIO DE
AMATITLÁN, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha abril de 2024.

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and strokes, positioned above the printed name.

Allan Daniel Bonilla Martinez



EEPFI-PP-0962-2024

Guatemala, 4 de mayo de 2024

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Mtro. Urquizú

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION PARA EL ESTUDIO FINANCIERO DE IMPLEMENTACION DE MAQUINARIA PARA RECUPERADO EN LINEA Y REDUCCION DE DESPERDICIO POR REFILE EN EMPRESA DE EMPAQUES FLEXIBLES UBICADA EN EL MUNICIPIO DE AMATITLAN, GUATEMALA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Área de Operaciones - Diseño e implementación de proyectos industriales**, presentado por el estudiante **Allan Daniel Bonilla Martinez** carné número **201900982**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestion Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

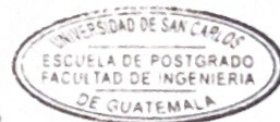
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Luis Estuardo Mansilla Guillen
Asesor(a)

LUIS ESTUARDO MANSILLA GUILLEN
INGENIERO DE LA CONSTRUCCIÓN
COLEGIADO NO. 21,386

Mtro. Hugo Humberto Rivera Perez
Coordinador(a) de Maestría



Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Oficina Virtual





EEP-EIMI-0962-2024

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION PARA EL ESTUDIO FINANCIERO DE IMPLEMENTACION DE MAQUINARIA PARA RECUPERADO EN LINEA Y REDUCCION DE DESPERDICIO POR REFILE EN EMPRESA DE EMPAQUES FLEXIBLES UBICADA EN EL MUNICIPIO DE AMATITLAN, GUATEMALA.**, presentado por el estudiante universitario **Allan Daniel Bonilla Martinez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Mtro. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, mayo de 2024



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.238.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION PARA EL ESTUDIO FINANCIERO DE IMPLEMENTACION DE MAQUINARIA PARA RECUPERADO EN LINEA Y REDUCCION DE DESPERDICIO POR REFILE EN EMPRESA DE EMPAQUES FLEXIBLES UBICADA EN EL MUNICIPIO DE AMATITLAN, GUATEMALA.**, presentado por: **Allan Daniel Bonilla Martínez** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Informe final PREGRADOPOSTGRADO
Fecha: 05/06/2024 16:03:01
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, mayo de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 238 CUI: 3021371220101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por haberme brindado la vida.

Mis padres

José Bonilla y Zaida Martínez, por el continuo amor y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por haberme brindado una educación superior
de calidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Contexto general.....	11
3.2. Descripción del problema	12
3.3. Formulación del problema	12
3.3.1. Pregunta central	12
3.3.2. Preguntas auxiliares	13
3.4. Delimitación del problema.....	13
3.4.1. Límite temporal	13
3.4.2. Límite geográfico	13
3.4.3. Límite espacial	14
3.4.4. Límite institucional	14
3.5. Viabilidad de la investigación.....	14
3.6. Consecuencias de realizar la investigación.....	14
3.6.1. De realizarse.....	15
3.6.2. De no realizarse.....	15
4. JUSTIFICACIÓN	17

5.	OBJETIVOS	19
5.1.	General	19
5.2.	Específicos.....	19
6.	ALCANCE	21
7.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	23
7.1.	Etapas de la investigación	23
7.2.	Esquema de solución	23
8.	MARCO TEÓRICO	25
8.1.	Plásticos.....	25
8.1.1.	Tipos de plásticos.....	26
8.1.1.1.	Termoplásticos	26
8.1.1.2.	Termoestables.....	27
8.2.	Extrusión de películas sopladas	27
8.2.1.	Componentes de una extrusora	29
8.3.	Scrap.....	35
8.4.	Peletizado	36
8.5.	Recuperación en línea.....	41
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	45
10.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
10.1.	Características del estudio	47
10.2.	Unidades de análisis.....	47
10.3.	Variables	48
10.4.	Fases de estudio.....	48

11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	51
12.	CRONOGRAMA.....	53
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	55
	REFERENCIAS	57
	APÉNDICES	61
	ANEXOS	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Fases del esquema de solución.....	24
Figura 2.	Proceso de extrusión por soplado	28
Figura 3.	Diagrama de proceso de extrusión	29
Figura 4.	Husillo.....	30
Figura 5.	Cilindro y resistencias	31
Figura 6.	Cabezal de extrusión.....	32
Figura 7.	Cesta de calibración.....	33
Figura 8.	Rodillos guías.....	33
Figura 9.	Porta cuchillas	34
Figura 10.	Sistema de embobinado	35
Figura 11.	Almacenamiento de refil en 2022	38
Figura 12.	Máquina peletizadora.....	38
Figura 13.	Capacidad actual de almacenamiento de refil.....	39
Figura 14.	Almacenamiento de desperdicio transparente para reproceso	40
Figura 15.	Refil contaminado para disposición final.....	40
Figura 16.	Bobina sin refilado.....	42
Figura 17.	<i>Software</i> de control de producción interno	51
Figura 18.	Plan de acción.....	53

TABLAS

Tabla 1.	Fases del esquema de solución	24
Tabla 2.	Operacionalización de variables	48
Tabla 3.	Plan de acción.....	53
Tabla 4.	Recursos financieros.....	55

GLOSARIO

Aprovechamiento	Sacar ventaja o beneficio, o utilizar algo de manera conveniente para ello.
Bobina	Cilindro de metal, madera, plástico, entre otros, corto y hueco o perforado a todo lo largo, con dos piezas circulares en los bordes de sus bases, que sirve para enrollar hilo, cinta, fibra, alambre, entre otros.
Calidad	Propiedad o conjunto de propiedades que tiene una cosa, que permite compararla y evaluarla.
Capacidad	Espacio que permite a una cosa contener dentro de sí otra.
Contaminación	Hacer que algo o alguien reciba una impureza, basura, desperdicios, entre otros, que lo dañen, envenenen o destruyan.
Desperdicio	Dejar que algo se pierda o se gaste sin sacarle provecho o todo el provecho posible; no aprovechar alguna cosa.
Eficiencia	Relación que existe entre la cantidad de energía, tiempo o material que se invierte para producir o hacer algo y el resultado que se obtiene.

Ingeniería	Conjunto de estos conocimientos y aplicaciones para la resolución de problemas.
Peletizado	Proceso de convertir el plástico en pellet para poder ser reprocesado.
Productividad	Capacidad para producir más de algo en relación con el trabajo y los medios que se invierten en ello.
Refile	Película plástica de un ancho promedio de 2 cm que asegura una buena calidad de embobinado en el producto.
Rentabilidad	Beneficio que rinde un bien en un período determinado.
Residuo	Parte o porción que queda de algo o que resulta de su actividad, funcionamiento o destrucción.
Resina	Materia prima que se utiliza para la fabricación de plásticos.
Sostenibilidad	Principio de asegurar las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, siempre sin renunciar a la protección del medioambiente, el crecimiento económico y el desarrollo social.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está realizado en una de las grandes compañías en Guatemala dedicada a la producción de películas y empaques flexibles. Siendo una empresa dedicada a la producción y fabricación de empaques especializados, dentro del proceso principal que es la extrusión por soplado, encontrará una cantidad de desperdicio por la línea de producción el cual tiene un alto valor agregado y debe ser reciclado acudiendo a reprocesos actualmente fuera de la línea de producción para poder maximizar la utilización de la materia prima y reducir la cantidad de desecho.

El estudio financiero de la implementación de una maquinaria de recuperado en línea tiene como finalidad la reducción de desperdicio por refile en una línea de producción, maximizando ingresos, reduciendo costos de producción y aumentando la productividad.

Al estar implementada la maquinaria se espera un aumento de la capacidad instalada para la recuperación de desperdicios, así como la reducción de tiempos improductivos por traslados y costos de almacenamiento. Además, se espera brindar recomendaciones y sugerencias necesarias para el reprocesamiento de desperdicio en la industria del plástico, así como establecer un precedente de la implementación de la nueva tecnología a utilizar la cual tiene como objetivo reducir de manera considerable el desperdicio dentro de la línea de producción y un mejor aprovechamiento de las horas máquina de la extrusora aumentando su eficiencia y reduciendo los tiempos de producción.

La factibilidad de la investigación es válida ya que cuenta con el total apoyo de la alta gerencia respecto a recursos monetarios, materiales y humanos. Existe una amplia apertura a incluir dentro de sus procedimientos metodologías de mejora continua y sistemas de medición de la productividad.

Una correcta gestión de los residuos genera la necesidad de utilizar tecnologías enfocadas a la reutilización y eficiencia. Se busca reducir, reutilizar y reciclar los materiales existentes en lugar de producir constantemente nuevos materiales.

El índice propuesto para el informe final se enfoca en la definición de todos los conceptos claves para poder entender el método de producción que se analizará y las distintas partes implicadas.

Para el marco teórico y conceptual se definen conceptos como lo es el plástico y su clasificación, la extrusión por soplado, los componentes principales de una extrusora, el impacto del scrap dentro de la industria, el proceso de peletizado y el método de recuperación en línea.

Para el desarrollo de la investigación se da una revisión a la situación actual de la empresa, se detalla el consumo de material recuperado y capacidad de producción mensual previo a la implementación del recuperado en línea. Por otra parte, se revisa la capacidad instalada para reprocesamiento de desperdicio por refil y como esta aumenta posterior al desarrollo del proyecto. Se presentan las dimensiones y funcionamiento de la maquinaria, también los costos del proyecto. Al concluir el montaje se procede con el análisis de los impactos económicos, técnicos y ambientales del proyecto, así como el periodo de recuperación de la inversión. Posteriormente se mide la productividad y eficiencia de la implementación.

Para la presentación de resultados, se tiene el informe de análisis de resultados, en relación con la implementación de la maquinaria de recuperado en línea.

Para la discusión de resultados, se analizan las consideraciones finales sobre la información obtenida durante el desarrollo de la investigación, así como conclusiones y recomendaciones sobre el desarrollo de todas las actividades propuestas.

2. ANTECEDENTES

En el presente capítulo se describen aspectos generales para la implementación de una maquinaria de recuperado en línea. El estudio se enfocó en la recuperación de desperdicios en la industria del plástico la cual en la actualidad ha tomado mucha importancia y con la innovación de nuevas tecnologías, este proceso promete ser más fácil y eficiente. “La aplicación de técnicas modernas que optimicen los procesos de producción es una excelente oportunidad para ofrecer resultados tangibles de mejora” (Choque ,2021, p.41).

Según la Universidad Europea (2022), la reutilización de materiales en los procesos de fabricación ayuda a evitar el uso indebido de materias primas sin procesar y requiere menos energía. La logística inversa supone una mejor organización del stock, que frena el alojamiento de productos obsoletos y minimiza posibles errores. En el caso de la empresa que se está analizando se evidencia una cantidad excesiva de desperdicio para reproceso y esto está generando sobre costos energéticos y de almacenamiento.

A continuación, se presentan estudios internacionales sobre la importancia de la recuperación de desperdicios y la aplicación de una logística inversa en las industrias.

Principales resultados de Parra y Quintero (2023) con el estudio *Incidencia de la logística inversa dentro de las organizaciones*.

- Los procedimientos de logística inversa configuran formas de retorno, desechos y devolución de materiales por medio de una

cadena de suministro que busca la reducción del impacto medio ambiental, intentando al mismo tiempo generar una actividad de rentabilidad.

- La logística inversa nace como una actividad de retorno de productos, envases y embalajes de reutilización directa, para aprovechar partes de materiales, reciclarlos y transformarlos o mejorarlos en pro de la reducción de emisiones, contaminación y costos empresariales.
- Presenta algunos inconvenientes, tal como el aumento de labores dentro de las organizaciones para poder gestionar correctamente los procesos que conlleva la recuperación de materiales o residuos ya sea para destruirlos o para integrarlos nuevamente en la cadena de suministro.
- A pesar de que la logística inversa cada vez tiene más relevancia dentro del sector empresarial, muchas empresas u organizaciones dentro del contexto colombiano optan por no usarla, ya sea por falta de capacitación en el sector productivo, el desconocimiento por parte de los empresarios en cuanto a las ventajas que esta pueda

ofrecer, o simplemente ven la logística inversa como un gasto de recursos. (p. 21)

Principales resultados de Vacacela (2021) con el estudio *Aplicación de herramientas de manufactura esbelta para reducir el nivel de desperdicios en el área de extrusión de una fábrica procesadora de empaques plásticos flexibles* son:

- Se redujo el porcentaje de desperdicio semanal del área 1, máquinas EP-09 y EP- 08 en la ejecución de una prueba piloto por 21 días, mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta, logrando reducir de 8.47 % a 5.90 %, esto equivale a haber reducido el desperdicio del área 1 en un 30.34 %.
- A nivel general, incluyendo las dos áreas físicas de la empresa, la reducción del desperdicio en un área generó la reducción del porcentaje promedio total inicial de 6.04 % a 5.83 %, equivalente a una reducción sobre el indicador general del 3.51 %.
- El ahorro por disminuir el desperdicio, si se continua la implementación en el tiempo, sería de \$6,207.64 mensual si sólo se trabaja en un área física, sin embargo, si se replica la

implementación en las dos áreas físicas se espera sea de \$10,104.08 mensual.

- El compromiso de la alta gerencia es crucial, por lo que es importante que se involucren las jefaturas en la consecución de las actividades pequeñas como reuniones de pocos minutos, recorridos en planta. (p. 37).

En su estudio a través de la herramienta del diagrama de Ishikawa pudo detectar las principales causas del alto desperdicio que se estaba generando. Una vez detectada la causa raíz de los problemas, propuso planes de acción para corregir dicho problema. Elaboró procedimientos de mantenimiento preventivo dentro de la línea de extrusión y estableció estándares en el uso de refil dentro de la producción.

Principales resultados de Solano (2022) con el estudio *Propuesta de mejora de la calidad de los procesos de extrusión en la empresa de empaques plásticos* son:

Determinó que la reducción del desperdicio de la empresa se podía conseguir mediante una inversión de \$3809 dólares americanos, que representaba según su estudio de costo beneficio el 2.2 % de los costos anuales por defectos de calidad. Para esto realizó una investigación del producto estrella de la compañía que son las fundas tipo camisetas, donde por la normativa vigente debe llevar el 50 % de resina posconsumo. (p. 9)

En este estudio se promueve la inversión en nuevas tecnologías que pueden representar un beneficio en la reducción de costos de una empresa.

Principales resultados de Barrera (2022) con el estudio *La mejora continua: Elemento de competitividad empresarial*.

Las empresas presentan la disponibilidad de integrarse a la mejora continua porque están seguras de que con ello obtendrán un mayor crecimiento y por lo tanto una mejor competitividad empresarial, que le abrirá las puertas a muchos otros mercados para sus ventas. Esto permitirá que dichas empresas se involucren mayormente a los temas de mejora continua y busquen apoyos financieros y reducir el temor a lo desconocido, que al final de cuentas les traerá mayores beneficios. (p. 16)

Es importante recalcar que, sin una adecuada conciencia de la mejora continua y su importancia en el crecimiento de una empresa, este proyecto no podría ser ejecutado por falta de financiamiento y disposición al cambio.

Las organizaciones lograrán el liderazgo en la medida en que se acercan a la excelencia en cada uno de sus procesos, con orientación a la mejora continua. Para esto es útil tener un sistema de gestión que esté claramente orientado a los procesos (Andrade, 2018).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desperdicio generado por refile en la producción industrial de películas de empaque flexible de polietileno es un residuo valioso y de alta calidad. Este es reprocesado posteriormente en líneas de peletizado con propósito de generar pellets de materia prima o simplemente tratado como un desecho.

El reprocesamiento conlleva una logística compleja que permita el correcto procesamiento y aseguramiento de un pellet de calidad. Este reproceso incurre en tiempos improductivos. Para garantizar que puedan volver a la producción de una forma rápida, eficiente e inocua se plantea el estudio de factibilidad de la implementación de una maquinaria de recuperado en línea que conserva el valor total del material entre la entrada y la salida apuntando a una producción de cero residuos, además de minimizar el gasto de mano de obra y energía.

La implementación de esta maquinaria se centra en la sostenibilidad económica y ambiental. A través de la manipulación eficiente de los materiales durante el proceso de conversión, se plantea una reducción del indicador de desperdicio de la línea de producción y un aumento en la productividad.

3.1. Contexto general

La empresa ya cuenta con un proceso fuera de línea llamado peletizado el cual se encarga de devolverle el valor a las películas procesadas como desperdicio y convertirlas en materia prima. Este proceso, al tener un crecimiento en ventas y por consiguiente un aumento en la producción, se ha visto al límite la capacidad de reproceso de este material.

3.2. Descripción del problema

En una planta de empaques flexibles ubicada en el municipio de Amatitlán del departamento de Guatemala, la cual cuenta con siete líneas de producción, pero en este análisis nos enfocaremos en solo una. Esta línea de producción es de coextrusión de películas plásticas de polietileno de tres capas que genera al mes desperdicio por refile. Este desperdicio puede llegar a ser aprovechable en la línea de producción siempre y cuando pase por un proceso llamado peletizado el cual se encarga de devolver el estado original de la materia prima que es el pellet. Al tener altos índices de desperdicio, se limita la capacidad de reproceso de este material y muchas veces se le da una disposición final el cual representa pérdidas para la empresa. Es necesario implementar un sistema de recuperado en línea que pueda mejorar la productividad y reducir los tiempos muertos que se generan al realizar el recuperado en un proceso fuera de línea.

3.3. Formulación del problema

Se ha evidenciado dentro de los indicadores productivos que el desperdicio por refile cada vez es más alto, el material recuperado por fuera de línea presenta problemas de calidad por contaminación en traslados e incorrecto almacenamiento. La falta de capacidad de reprocesamiento está conllevando a un desaprovechamiento del desperdicio por refile.

3.3.1. Pregunta central

¿Es posible reducir el desperdicio en una línea de producción de extrusión por soplado a través de una maquinaria de recuperado en línea y lograr aumentar la productividad?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál será el impacto de la implementación?
- ¿Cómo se medirá la rentabilidad de la inversión planificada?
- ¿Cómo comparar la productividad antes y después de la implementación?
- ¿Se podrá medir el impacto ambiental de la línea de producción?

3.4. Delimitación del problema

Se estudiará en una empresa de empaques flexibles el desperdicio generado en una línea de producción, en la cual se implementará una maquinaria de recuperado en línea y se evaluará financieramente la rentabilidad de la inversión a través de un análisis de beneficio costo, adicionalmente se medirán los impactos que esto genera en la productividad de la línea.

3.4.1. Límite temporal

El estudio se desarrolla dentro del periodo que hay entre los cursos de Seminario I y Seminario III, de septiembre de 2023 a noviembre de 2024.

3.4.2. Límite geográfico

El estudio se realizará en la Ciudad de Guatemala, en el municipio de Amatitlán.

3.4.3. Límite espacial

La investigación se realizará en la planta de una empresa de empaques flexibles en la cual se ubicará la maquinaria propuesta y se realizará los procesos de investigación para determinar los impactos económicos y ambientales.

3.4.4. Límite institucional

Al ser una institución privada se debe cumplir con todos los requisitos de seguridad y confidencialidad durante el proceso de investigación.

3.5. Viabilidad de la investigación

La implementación que se realizará cuenta con el total apoyo de la alta gerencia respecto a recursos monetarios, materiales y humanos. Existe una amplia apertura a incluir dentro de sus procedimientos metodologías de mejora continua y sistemas de medición de la productividad. No existe una resistencia al cambio respecto a propuestas o variaciones de los planes que ha planteado la empresa para la ejecución del proyecto. Se cuenta con un amplio acceso a los sistemas de información de producción de la empresa para poder cuantificar los resultados esperados.

3.6. Consecuencias de realizar la investigación

La investigación nace con el propósito de dar solución a un problema de exceso de desperdicios por refil en una línea de producción y esta promueve que a través de herramientas de la ingeniería se pueda obtener un análisis técnico del funcionamiento y efectividad de la solución propuesta.

3.6.1. De realizarse

Al concluir la investigación se obtendrá un resultado cuantitativo del impacto de la implementación de una línea de recuperado de desperdicios y las reducciones en costos que esta produjo. Adicionalmente, establecerá un precedente para la viabilidad de la implementación de la tecnología propuesta en las restantes seis líneas de producción.

3.6.2. De no realizarse

No habría un análisis técnico de la implementación de esta tecnología en la empresa y no se tendría la claridad del beneficio/costo o el tiempo de recuperación de esta inversión.

4. JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación presenta el problema de un alto índice de desperdicio por refile generado en una línea de extrusión por soplado, el cual es punto de partida para implementar una maquinaria de recuperado en línea y aumentar la capacidad instalada de este reproceso cumpliendo con los KPI'S de la planta y generando un ahorro en los costos de producción. Por esta razón, se destaca la importancia de instalar un proceso en el cual se pueda recuperar el material que se considera como desperdicio sin salir de la línea de producción. Al tener altos índices de desperdicio, se limita la capacidad de reproceso de este material y muchas veces se le da una disposición final el cual representa pérdidas para la empresa. Es necesario implementar un sistema de recuperado en línea para que la empresa pueda mejorar la productividad y reducir los tiempos muertos que se generan al realizar el recuperado en un proceso fuera de línea.

Al implementar una fase de reproceso del desperdicio generado en la línea, se aprovechará la materia prima en su totalidad y maximizará ingresos para la empresa, dado que resulta de mayor beneficio reprocesar el producto que venderlo como reciclaje o simplemente darle una disposición final sin ningún valor de rescate. Adicionalmente, será necesario cuantificar las reducciones de tiempos y costos asociados a ellos, no solo analizando impactos económicos sino también ambientales.

Respecto los impactos ambientales que esta implementación pueda generar se asocian conceptos como la reducción del uso de materias primas vírgenes, los cuales tienen origen de procesos donde se utiliza como fuente de procesamiento el petróleo y un mayor uso de materiales reciclados dentro de la

formulación de las películas plásticas; al ser una maquinaria con tecnología de punta se mejorará la eficiencia energética y se generará una optimización en el transporte dado que los reprocesos que se realizarían en línea disminuyen considerablemente los traslados de material al área de peletizado.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Implementar una maquinaria de recuperado en línea, dentro una empresa de empaques flexibles ubicada en Amatitlán, Guatemala.

5.2. Específicos

1. Comparar el desperdicio mensual en una línea de producción posteriormente a la implementación de una maquinaria de recuperado en línea.
2. Realizar un análisis de beneficio costo de la inversión de una maquinaria de recuperado en línea.
3. Desarrollar un estudio de tiempos comparando la producción de material recuperado en un proceso fuera de línea respecto uno en línea.
4. Calcular la huella de carbono en una línea de producción de empaque flexibles de polietileno.

6. ALCANCE

Se analiza la implementación de una nueva tecnología de recuperado en línea en una empresa de empaques flexibles, la cual es instalada en una de las siete líneas de extrusión disponibles. A través de sistemas de control de la producción se miden los impactos técnicos, económicos y ambientales tomando como referencia un antes y después. Asimismo, a través de herramientas financieras se mide la rentabilidad y tiempo de recuperación de la inversión, estableciendo un precedente sobre la viabilidad de instalación de este sistema en las demás líneas de producción.

Se espera emitir recomendaciones y sugerencias necesarias para la industria del plástico con la implementación de sistemas de recuperación en línea de desperdicios generados por el refil de las películas para empaques flexibles, con el fin de un mejor aprovechamiento de residuos, minimización de costos de fabricación, aumento de capacidad instalada de reprocesos y promover la conservación del medio ambiente.

7. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

7.1. Etapas de la investigación

La principal necesidad por cubrir que genera la aplicación de este estudio de investigación se enfoca en la inversión en nuevas tecnologías que pueden representar un beneficio en la reducción de costos de una empresa. Partiendo de esta idea se propone la implementación de una fase de reprocesamiento del desperdicio generado en una línea de producción, aprovechando la materia prima en su totalidad y maximizando ingresos para la empresa. Adicionalmente, será necesario cuantificar las reducciones de tiempos y costos asociados a ellos, no solo analizando impactos económicos sino también ambientales.

El diseño de solución abarca desde el análisis de la situación actual de la empresa, consumo mensual de material recuperado, capacidad de producción mensual, capacidad instalada de reprocesamiento de desperdicio, funcionamiento de la nueva maquinaria, determinación de costos del proyecto, impactos económicos, impactos técnicos, impactos ambientales, periodo de recuperación de la inversión y el análisis de la eficiencia de la línea al finalizar la implementación.

7.2. Esquema de solución

En la figura 1 se presenta el esquema de solución propuesto para este tema de investigación.

Tabla 1.

Fases del esquema de solución

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Revisión de literatura	Recolección de la información	Análisis de información	Interpretación de información
Se plantea revisar manuales y planos de maquinaria por instalar, así como la toma de nota de todos los detalles necesarios para la correcta instalación como instalaciones eléctricas, agua, ductos, etc. Duración 2 semanas.	Se realiza con el acompañamiento del área de mantenimiento la instalación de la maquinaria. Se recibe capacitación en el manejo y operación de todo el sistema. Se mide los impactos de la implementación, tomando ocho semanas como una curva de aprendizaje con posibles errores de operación y cuatro semanas calculando los kg de desperdicio recuperados. Duración 22 semanas	Se analiza los datos recolectados y mide los impactos de la implementación. Duración 3 semanas	Se determinará monetariamente los ahorros generados y se analiza a través de herramientas financieras el beneficio económico y tiempo de recuperación de la inversión. Duración 4 semanas

Nota. Fases de esquema de solución. Elaboración propia, realizado con Excel.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Plásticos

Los plásticos en general se pueden catalogar de muchas formas en base a la propiedad que se quiera tomar de referencia. En este caso, tomaremos la clasificación de los plásticos según sus propiedades térmicas y procesamiento.

El plástico debido a sus propiedades como durabilidad, diversidad y bajo costo ha tenido un crecimiento muy importante en la industria de empaques y envases. Acorde a lo antes mencionado, también se ha ido representando un incremento en la gestión de residuos y esto genera la necesidad de utilizar tecnologías enfocadas a la reutilización y eficiencia. En estos nuevos modelos, se busca reducir, reutilizar y reciclar los materiales existentes en lugar de producir constantemente nuevos materiales.

Según De Losada (2023) El mercado global del plástico, que se valoró en unos impresionantes \$598.76B de dólares en 2022, está en una trayectoria ascendente. Se espera que alcance los \$827.12B para 2030. Adicionalmente, también argumenta que, a pesar de su crecimiento, la sostenibilidad es una preocupación clave en la industria del plástico. La presión para reducir o eliminar el uso de plásticos de un solo uso ha llevado a la industria a innovar, buscando alternativas sostenibles.

8.1.1. Tipos de plásticos

Los plásticos en general se pueden catalogar de muchas formas en base a la propiedad que se quiera tomar de referencia. En este caso, tomaremos la clasificación de los plásticos según sus propiedades térmicas y procesamiento.

8.1.1.1. Termoplásticos

Según Cataño (2023) este concepto se define como:

De acuerdo con su estructura molecular pueden ser lineales y sus enlaces intermoleculares se rompen y separan con facilidad debido al enlace secundario que los conforma, por esto, cuando este tipo de polímero alcanza su temperatura de transición vítrea (T_g) se ablanda permitiendo moldearlos a necesidad y, cuando alcanza su temperatura de fusión, se funden obteniendo un estado líquido, y finalmente, al enfriarlos se vuelven duros, permitiendo que se realice nuevamente el proceso, lo que lo lleva a tener una vida útil prolongada gracias a su facilidad para reciclarse contribuyendo a disminuir el efecto ambiental negativo que conlleva una inadecuada disposición de estos materiales al final de su vida útil. (p. 12)

Cuando se aumenta su temperatura se puede observar un ablandamiento y al llegar a su punto de enfriamiento se puede apreciar en un estado sólido. Este tipo es muy común en el mercado del plástico y se tiene el polietileno (PE), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), y muchos más.

8.1.1.2. Termoestables

Según Cataño (2023) este concepto se define como:

Por lo general la estructura de los termoestables hace que sean polímeros resistentes y estables cuando se calientan, por lo que no se funden ni ablandan, esto genera que su uso sea limitado ya que no pueden moldearse o reciclarse, cuyo comportamiento es debido al enlace covalente entre las cadenas poliméricas lo que genera un impacto negativo sobre el medio ambiente. (p. 13)

El uso de estos plásticos con el tiempo ha ido disminuyendo ya que representa un largo tiempo de procesamiento, se traduce en altos costos energéticos y reducciones de eficiencias en las áreas productivas. Visiblemente son muy opacas y para fines comerciales es poco atractivo.

8.2. Extrusión de películas sopladas

Según Zapata (2022) este concepto se define como:

Un proceso mediante el cual el material plástico; por lo general polietileno de alta y baja densidad, así como el polipropileno; es fundido y empujado gracias a la fuerza de un tornillo extrusor, el cual obliga a la masa fundida a atravesar un sistema de mallas, expulsando está por un molde de forma circular y posteriormente conformar la burbuja plástica para luego ser

colapsada en una lámina que es enrollada y se dispone al proceso siguiente. (p. 2)

Figura 1.

Proceso de extrusión por soplado

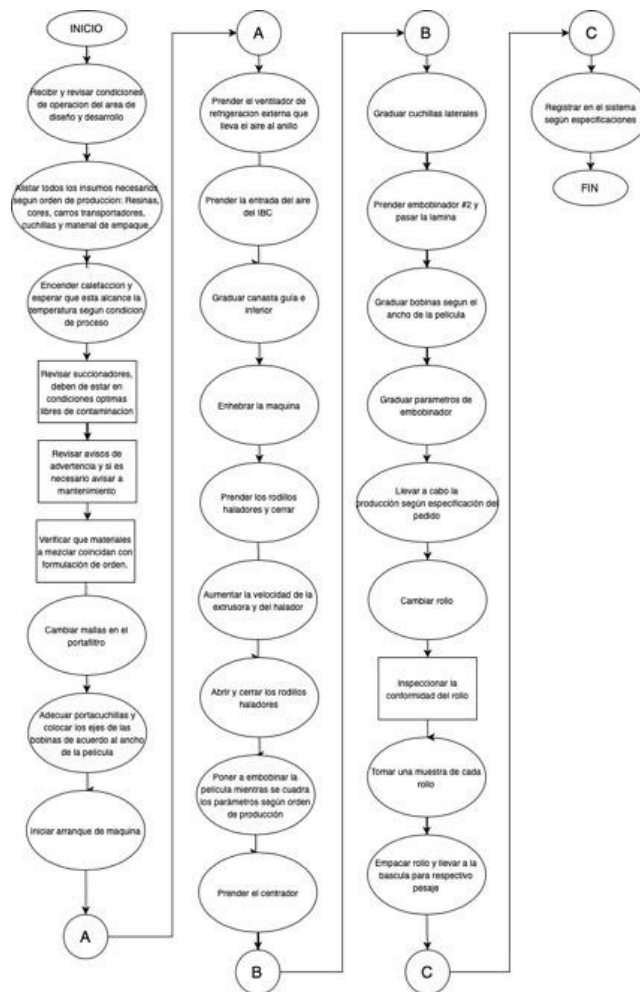


Nota. Producción de empaque flexible en extrusora. Elaboración propia.

Como bien antes mencionado, la elaboración de esta película puede ser sometida a un proceso posterior el cual puede ser impresión, laminación, corte o despacho directo.

Figura 2.

Diagrama de proceso de extrusión



Nota. Detalle de proceso de extrusión en empresa de empaques. Elaboración propia, realizado con Visio.

8.2.1. Componentes de una extrusora

A continuación, se detallan los principales componentes en el principio de extrusión por soplado:

- Husillo

Es un tornillo sin fin que puede contar con aletas o filetes, el cual tiene como función transportar, mezclar, fundir y homogeneizar la mezcla que ha sido asignada a cada capa. Este se encuentra dentro del cilindro y puede tener

Figura 3.

Husillo



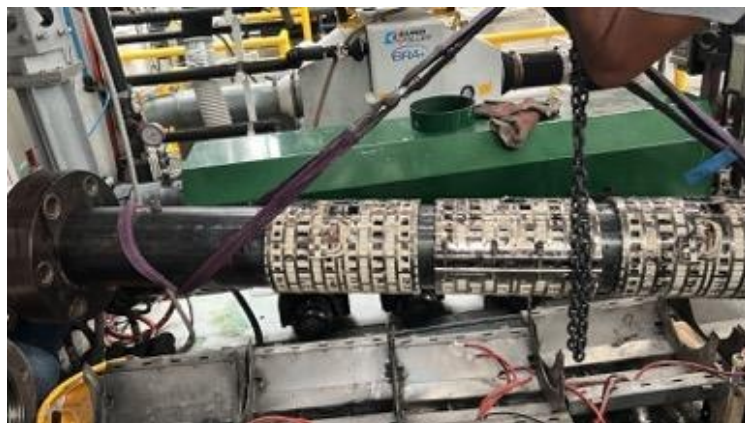
Nota. Referencia visual de husillo de extrusora. Elaboración propia.

- Cilindro

Es un caparazón metálico con resistencia al desgaste que cubre al tornillo extrusor. Su interior es liso y se encuentra recubierto por resistencias y calefactores que permiten calentar el cilindro y por ende el material que se transporta con el tornillo.

Figura 4.

Cilindro y resistencias



Nota. Referencia visual de cilindro y resistencias. Elaboración propia.

- Tolva

Es un conducto a través del cual pasa la materia prima (resina) en forma de pellet para luego ser enviado a la zona de alimentación y que se funde a través de los tornillos extrusores.

- Cabezal

Puede ser llamado también dado, se encarga de recibir el flujo másico de los tornillos en dirección perpendicular a la de extrusión, se dirige a través de unos distribuidores con el objetivo de obtener el extruido en forma de tubo para ser soplado posteriormente.

Figura 5.

Cabezal de extrusión



Nota. Referencia visual de cabezal extrusor. Elaboración propia.

- Cesta de calibración

Sistema que nos permite soportar la burbuja. Trabaja con una serie de sensores que tienen como función dar lectura sobre la línea de enfriamiento para graduar la entrada y salida de aire en el proceso de soplado.

Figura 6.

Cesta de calibración



Nota. Referencia visual de cesta de calibración. Elaboración propia.

- Rodillos guías

Transportan la película desde los rodillos haladores en forma descendente hasta el sistema de embobinado.

Figura 7.

Rodillos guías



Nota. Referencia visual de rodillos guías de línea de extrusión. Elaboración propia.

Es un sistema de corte de la película que nos permite refilar, abrir el tubular y seccionar la película para llevarla al sistema de embobinado y cumplir con los requisitos de la orden de producción. En él se encuentran las cuchillas de corte.

Figura 8.

Porta cuchillas



Nota. Referencia visual de porta cuchillas para sistema de refilado. Elaboración propia.

- Embobinador

Parte donde finalmente es enrollada la película cumpliendo con los parámetros establecidos en la orden de extrusión.

Figura 9.

Sistema de embobinado



Nota. Sistema de embobinado de una extrusora. Elaboración propia.

8.3. Scrap

“El scrap constituye uno de los conceptos de mayor importancia en el ámbito de la Ingeniería y sistemas productivos, debido a que la industria trabaja todo el tiempo en búsqueda de estrategias para la minimización del scrap de cualquier producto” (Yepez, 2019, p. 17)

El scrap se identifica como todo desperdicio el cual es tratado como desecho, pero potencialmente puede ser reutilizado aplicando algún reproceso. También es sinónimo de pérdidas económicas silenciosas las cuales poco a poco van reduciendo la rentabilidad.

Como argumentan Andrade (2018):

Las empresas tratan de eliminar el desperdicio de los procesos manufactureros, por esta razón, la Ingeniería ha creado diversas

herramientas para identificar las causas del scrap y a través de los diagnósticos que se hayan obtenido, promover la mejora continua que, al reducir los niveles de desperdicio en los procesos productivos, contribuya al incremento de la productividad y de la competitividad de la empresa, con enfoque hacia la satisfacción del cliente y las partes interesadas. (p. 10)

Según Yepez (2019):

La importancia de reducir el scrap radica en que, a mayor producción de desperdicio, la empresa también está despilfarrando costos, por esta razón, las industrias japonesas le dieron gran relevancia a la concepción del scrap, porque lo escogieron como el enemigo contra el que debían luchar, porque al vencer a este adversario, era posible la superación de la empresa, lo que debía reflejarse en los indicadores de productividad, en las finanzas organizacionales y en la competitividad. (p. 18)

8.4. Peletizado

El peletizado es el proceso de transformación de película flexible en su forma original que es el pellet. Básicamente se convierte el plástico en materia prima para que pueda ser reutilizada en el proceso de producción. El área de peletizado debe de contar con protocolos estrictos en el almacenamiento del material ya que puede ser susceptible a contaminación como agua y polvo el cual modifica la pureza necesaria del plástico. Al ser una empresa enfocada en

empaques flexibles de alimentos la inocuidad de los empaques debe ser la prioridad.

Cumbajin y Vásquez (2013) explica que:

Para calentar los sistemas de plastificación de máquinas peletizadoras se utilizarán, casi exclusivamente, elementos calefactores eléctricos, que producen calor mediante resistencias eléctricas. El calor procedente de los alambres de una resistencia eléctrica puede transmitirse diversos modos al elemento a calentar. (p. 222)

Albán y Arias (2019) establecen que:

En la industria existen un sinnúmero de máquinas peletizadoras las cuales tienen como fuerza motriz un motor eléctrico o un motor de combustión interna y se emplean para formar pellets de distintos materiales tales como: polímeros, madera, alimentos balanceados, entre otros. Sin embargo, se puede clasificar las máquinas peletizadoras por su principio de acción en dos tipos, de matriz plana y de matriz anular. (p. 5)

Figura 10.

Almacenamiento de refil en 2022



Nota. Capacidad instalada de almacenamiento de refil en 2022. Elaboración propia.

Figura 11.

Máquina peletizadora



Nota. Máquina para proceso de peletizado. Elaboración propia.

La actual problemática es el aumento del desperdicio debido al crecimiento en ventas de la empresa y se ve reflejada en la disminución de la capacidad instalada en el área de peletizado.

Figura 12.

Capacidad actual de almacenamiento de refil



Nota. Reducción de capacidad instalada de almacenamiento de refil en 2023. Elaboración propia.

Figura 13.

Almacenamiento de desperdicio transparente para reproceso



Nota. Almacenamiento de rollos para reproceso. Elaboración propia.

Figura 14.

Refil contaminado para disposición final



Nota. Patio trasero de empresa de empaques flexibles. Elaboración propia.

Al tener una reducción en la capacidad instalada de reproceso el material se contamina al estar en la intemperie y según procedimientos establecidos se le debe dar una disposición final teniendo un valor de rescate mínimo o algunas veces nulo, representando pérdidas y un aumento en los costos de producción aumentando el uso de resinas vírgenes.

8.5. Recuperación en línea

La recuperación de residuos plásticos desempeña un papel fundamental en este enfoque, ya que permite la reutilización de plásticos existentes, reduciendo así la necesidad de producir plástico virgen a partir de recursos no renovables. A su vez, esto también genera una reducción en los costos de producción. Todo esto nos lleva a explorar soluciones sostenibles y nace el proyecto de implementar una maquinaria que pueda recuperar los desperdicios de la línea de producción y reincorporarlos directamente. Next Generation Recycling (NGR), es una empresa de Austria, que ha estado construyendo máquinas de reciclaje de plástico por más de 20 años. Es por ello que debido al posicionamiento que ha tenido en el mercado de máquinas recicladoras, se opta por instalar la línea E: Gran de la marca y medir los impactos económicos y ambientales que esta pueda generar. Con su combinación patentada de helicóptero, alimentador y extrusora, la serie E: gran puede cortar la película de plástico y el borde de la película directamente en la sección de alimentación de la extrusora (NGR, 2023).

Esta maquinaria está enfocada para la reutilización de refilado en líneas de extrusión. El refilado es el proceso que se requiere para poder darle una calidad de embobinado adecuada a los rollos de película que se extruyen. Sin este proceso las bobinas presentan gradas irregulares que afectan el proceso de impresión o laminación posterior.

Figura 15.

Bobina sin refilado



Nota. Rollo con mala calidad de embobinado por falta de refil. Elaboración propia.

Como argumenta Mendoza *et. al.* (2020):

Si bien durante muchos años estos desechos iban directamente a rellenos y botaderos, el alto consumo de plásticos de un solo uso y su alto tiempo de degradación, aunado con la contaminación de agua, tierra y aire, han despertado gran importancia para cambiar su destino. Es así, como se irrumpe el modelo lineal con actividades de recuperación y aprovechamiento del plástico. Es aquí donde nace el reciclaje como el método más eficaz de eliminar los efectos negativos, convirtiéndolo en un recurso valioso tanto para el medioambiente como para la economía. (p. 175)

Para concluir, Parra (2022) establece que:

En resumen, es un conjunto de actividades dentro de la cadena de suministro orientado a recuperar productos y transformarlos en materias primas o productos terminados dando una disposición final sostenible por medio del reciclaje y su reutilización disminuyendo en el caso de estudio de este artículo el uso de plástico virgen y generando un impacto social, ambiental y económico al aplicarlo. (p. 2)

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO METODOLÓGICO

- 1.1. Características del estudio
- 1.2. Unidades de análisis
- 1.3. Variables
- 1.4. Fases de estudio

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Plásticos
 - 2.1.1 Termoplásticos
 - 2.1.2 Termoestables
- 2.2. Extrusión de películas sopladas
 - 2.2.1 Componentes de una extrusora
- 2.3. Scrap
- 2.4. Peletizado
- 2.5. Recuperado en línea

3. DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN

- 3.1. Situación actual de la empresa
- 3.2. Consumo de material recuperado mensual
- 3.3. Capacidad de producción mensual
- 3.4. Capacidad instalada de reprocesamiento mensual
- 3.5. Dimensiones de maquinaria
- 3.6. Funcionamiento de maquinaria
- 3.7. Determinación de costos del proyecto
- 3.8. Costo de producción proyectado
- 3.9. Impactos económicos
- 3.10. Impactos técnicos
- 3.11. Impactos ambientales
- 3.12. Periodo de recuperación de inversión
- 3.13. Productividad y eficiencia

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Informe de análisis de resultados

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 5.1. Planteamiento para discusión

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación desarrollada en este documento, según su finalidad, es de tipo proyectiva con enfoque cuantitativa, alcance correlacional y diseño no experimental, con una ocurrencia prospectiva y retrospectiva. La recolección de datos es de tipo longitudinal.

10.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que se estudiarán variables cuantitativas de producción como lo son costos, eficiencias, productividades, entre otros.

El alcance es correlacional, dado que se detallará variables como la productividad y eficiencia se relacionan entre sí dentro de la implementación de una línea de recuperado en línea.

El diseño adoptado será no experimental, pues la información de indicar el tema se analizará en su estado original sin ninguna manipulación.

10.2. Unidades de análisis

La población en estudio será el área de extrusión de una empresa de empaques, la cual se encuentra dividida en subpoblaciones dadas por líneas de extrusión, de la cual se extraerán muestras de una sola línea de producción, que serán estudiadas en su totalidad.

10.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación.

Tabla 2.

Operacionalización de variables

Variable	Definición Teórica	Definición Operativa	Indicador	Técnica de recolección
Recuperación de desperdicios	Es el rescate de un material antes de considerarlo como un desecho	Kg de desperdicio recuperado	Indicadores de producción, desperdicios, eficiencia y tiempos muertos	ERP, observación
Desperdicio	Material de alto valor agregado con capacidad de reprocesamiento.	Kg.	Indicadores de producción, desperdicios, eficiencia y tiempos muertos	Sistemas de trazabilidades internas
Rentabilidad	Beneficio económico sobre una inversión	Quetzales	B/C	Estados financieros, reportes de gastos
Productividad	Relación de un producto respecto a los recursos invertidos.	Porcentaje	OEE	Sistemas de trazabilidades internas
Eficiencia	Hacer más con menos recursos	Porcentaje	OEE	Sistemas de trazabilidades internas
Huella de carbono	emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la actividad productiva	CO2e	Huella de carbono	Reportes anuales/mensuales de sostenibilidad

Nota. Datos de nota, breve descripción de tabla y datos de referencia. Elaboración propia, realizado con Excel.

10.4. Fases de estudio

- Fase 1: revisión de literatura

En un periodo de dos semanas se plantea revisar manuales y planos de maquinaria por instalar, así como la toma de nota de todos los detalles necesarios para la correcta instalación como instalaciones eléctricas, agua, ductos, entre otros.

- Fase 2: gestión o recolección de la información

Durante ocho semanas se realiza con el acompañamiento del área de mantenimiento la instalación de la maquinaria. En este periodo se recopila toda la información técnica de la maquinaria, así como especificaciones generales.

Posterior a la instalación, se toma dos semanas más para la capacitación en el manejo y operación de todo el sistema. Asimismo, se realiza el despliegue de uso con los operadores y ayudantes de la línea de producción.

Durante doce semanas se medirán los impactos de la implementación, tomando las primeras ocho semanas como una curva de aprendizaje con posibles errores de operación y las últimas cuatro semanas calculando los kg de desperdicio recuperados los cuales serán comparados con el histórico de desperdicio por refile en la línea de producción.

- Fase 3: análisis de información

En esta fase se tomarán tres semanas para analizar los datos recolectados y medir los impactos de la implementación. Se compararán a través de históricos el cambio en el porcentaje de desperdicio por refile en la línea de producción, el cambio del consumo de material recuperado, el impacto en la eficiencia de la línea y la reducción de posibles tiempos muertos.

- Fase 4: interpretación de información

Luego de cuantificar los impactos que ha tenido la implementación de la línea de recuperación de desperdicios, durante cuatro semanas se determinará monetariamente los ahorros generados y se analizará a través de herramientas financieras el beneficio económico y tiempo de recuperación de la inversión. Además, se definirán los costos asociados a la operación de la maquinaria como costos energéticos y de mantenimiento.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Debido a que la investigación es no experimental, se realiza el análisis de la información mediante *software* de control de producción interno a través del cual se recogen muestras para el cálculo de los impactos que se pretenden analizar. Variables como desperdicio, eficiencia, productividad y rentabilidad serán analizadas durante la investigación. Estos datos serán tabulados y representados gráficamente con la ayuda del paquete de ofimática de Microsoft Office.

Figura 16.

Software de control de producción interno



Nota. Referencia visual de sistema de control de producción. Elaboración propia, realizado con Excel.

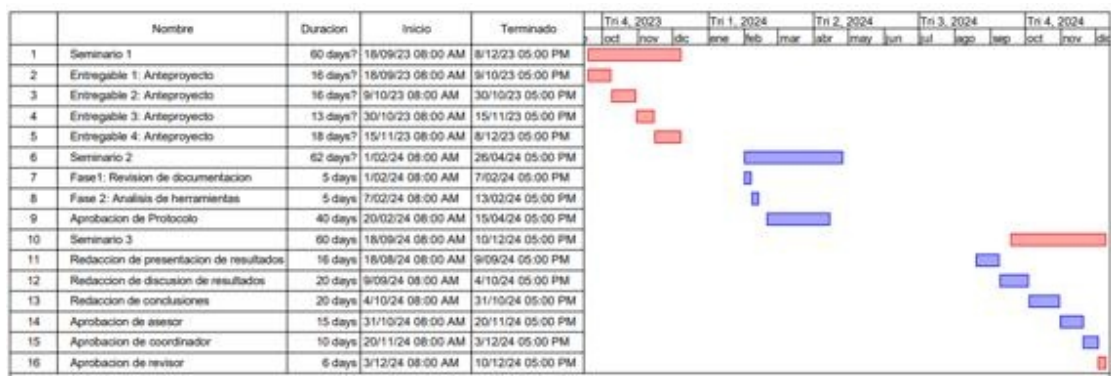
Las variables anteriormente mencionadas serán fundamentales para determinar la relación del desperdicio con la productividad y rentabilidad. La cantidad de Kg reprocesados en la línea de recuperación se convertirá en materia prima buena, logrando recaudar información sobre los impactos económicos que esto implica. Además, esto genera ahorros en los costos de producción los cuales se utilizarán para medir la rentabilidad de la inversión, así como el periodo de recuperación.

Mediante gráficos de series de tiempo se organiza la información recopilada de los sistemas de trazabilidad interno y se compara la cantidad de desperdicio contabilizado en la línea de extrusión mes a mes. Esto será el punto de partida para determinar la efectividad de la implementación.

12. CRONOGRAMA

Tabla 3.

Plan de acción



Nota. Cronograma de actividades y fechas. Elaboración propia, realizado con Excel.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación, se presenta la factibilidad económica de la investigación.

Tabla 4.

Recursos financieros

Descripción	Unidades	Costo unitario	Costo total
Recursos humanos			
Honorarios de asesor	1.00	Q 5,500.00	Q 5,500.00
Honorarios estudiante	1.00	Q 5,000.00	Q 5,000.00
Servicios			
Internet	12.00	Q 150.00	Q 1,800.00
Telefonía móvil	12.00	Q 150.00	Q 1,800.00
Útiles de oficina			
Hojas de papel (resma)	1.00	Q 100.00	Q 100.00
Cinta adhesiva	10.00	Q 10.00	Q 100.00
Lapiceros	5.00	Q 2.00	Q 10.00
Lápices	5.00	Q 1.00	Q 5.00
Borradores	5.00	Q 1.00	Q 5.00
Herramientas			
Cintas métricas	2.00	Q 55.00	Q 110.00
Cuchillas	5.00	Q 35.00	Q 175.00
Bienes intangibles			
Licencia Office 365	1.00	Q 450.00	Q 450.00
Licencia AutoCAD	1.00	Q 1,800.00	Q 1,800.00
Imprevistos	12.00	Q 150.00	Q 1,800.00
Total			Q 18,655.00

Nota. Detalle del presupuesto para la realización del proyecto de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

REFERENCIAS

- Albán, E. y Arias, Á. (2019). *Diseño, construcción e implementación de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para el sector pecuario con capacidad de 100kg/h*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador]. Archivo digital. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17754>
- Andrade, A. (2018). Estudio de tiempos y movimientos para incrementar la eficiencia en una empresa de producción de calzado. *Información Tecnológica*, 30(3), 83-94. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300083>
- Barrera, I. (2022). La mejora continua: Elemento de competitividad empresarial. *Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación* 9(17), 1-19. <http://orcid.org/0000-0002-5643-5711>
- Cataño, N. (2023). *Implementación de una metodología a nivel de laboratorio para aplicación uniforme de un recubrimiento termoplástico sobre la superficie de fibras de fique*. [Tesis de pregrado, Institución Universitaria Pascual Bravo de Colombia]. Archivo digital. <https://repositorio.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/2119>
- Choque, A. (2021). Estudio de tiempos y su relación con la productividad. *Revista de Investigación en Ciencias de la Administración*, 5(17), 40–54. <https://www.redalyc.org/journal/6219/621968429003/621968429003.pdf>

Cumbajin, B. y Vásquez, M. (2013). *Diseño y construcción de una máquina peletizadora de polietileno de baja densidad LDPE de 25 kg/h*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador]. Archivo digital. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4448>

De Losada, F. (17 de agosto de 2023). *La Industria del Plástico: Un gigante económico en plena expansión*. LinkedIn.com. https://es.linkedin.com/pulse/la-industria-del-pl%C3%A1stico-un-gigante-econ%C3%B3mico-en-plena-de-losada?utm_source=share&utm_medium=guest_desktop&utm_campaign=copy

Mendoza, R., Niebles, E., Barreto, C., Fabregas, J., y Buelvas, E. (2020). Análisis de la cadena de valor del reciclaje de plástico. Un caso de estudio en el departamento del Atlántico (Colombia). *Revista ESPACIOS*, 41(25), 171-183. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n25/a20v41n25p14.pdf>

NGR (2023). *Plastic recycling machine manufacturer*. <https://ngr-world.com/product/egran/>

Parra, A. (2022). *Análisis de procesos de logística inversa para productos plásticos*. [Tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/44205/CelyParraAndresCamilo2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Parra, J., y Quintero, A. (2023). *Incidencia de la logística inversa dentro de las organizaciones*. [Tesis de pregrado, Universidad Libre de Colombia]. Archivo digital. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/24689>

Solano, E. (2022). *Análisis Causa Raíz. Propuesta de mejora de la calidad de los procesos de extrusión en la empresa de empaques plásticos Sunchodesa Representaciones Cía. Ltda.* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador]. Archivo digital. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23935/4/UPS-GT004120.pdf>

Universidad Europea. (25 de enero de 2022). *¿Qué es la logística inversa?* <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-logistica-inversa/>

Vacacela, I. (2021). *Aplicación de herramientas de manufactura esbelta para reducir el nivel de desperdicios en el área de extrusión de una fábrica procesadora de empaques plásticos flexibles.* [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador]. Archivo digital. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52299>

Yepez, G. (2019). *Estudio de caso para determinar la incidencia del SCRAP en la productividad del área de Peletizado de Plásticos Industriales C.A.* [Tesis de maestría, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil de Ecuador]. Archivo digital. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13456>

Zapata, J. (2022). *Reducción de desperdicio en la fabricación de empaques plásticos flexibles.* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico Metropolitano de Colombia]. Archivo digital. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/5678>

APÉNDICES

Apéndice 1.

Instructivo de uso maquinaria NGR

INSTRUCTIVO RECUPERADORA EN LÍNEA			
Versión No. 1	Código: EXT-IN-05	Fecha de aprobación:	Fecha próxima revisión:
Elaborado Por:		Revisado por:	Aprobado por:
Rol: Jefe de extrusión y peletizado		Rol: Jefe de sistemas de gestión y proyectos	Rol: Director de planta

Objeto

Describir cada uno de los pasos para la correcta operación de la máquina recuperadora en línea NGR.

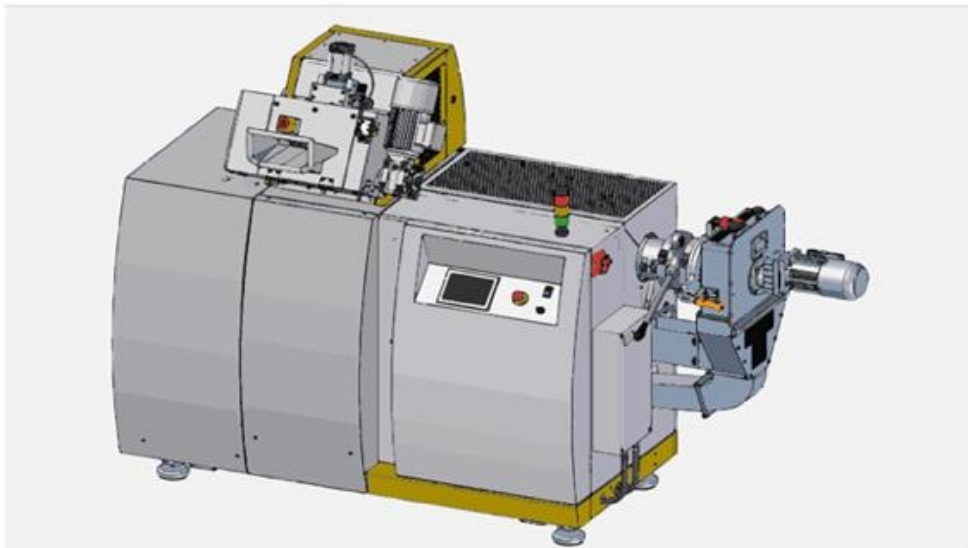
Alcance

Este instructivo corresponde al proceso de extrusión y comprende desde el momento que los materiales refilados son depositados en la tolva de alimentación de la recuperadora en línea hasta su transformación.

Continuación del Apéndice 1.

Definiciones

Equipo recuperador NGR: Sistema de extrusión conformado por un extrusor, en donde se realiza un proceso de recuperación de los recortes laterales (refil) donde es fundido y peletizado para luego ser utilizado nuevamente en el extrusor B.



Funcionamiento de recuperadora en línea

El operador empieza a programar la temperatura de cada una de las zonas tornillo extrusor y placa perforadora. Las temperaturas van desde los 110 grados centígrados a 200 grados centígrados según lo requerido por el material garantizando la formación del pellet.

Continuación del Apéndice 1.

La limpieza de las cuchillas de la recuperadora en línea se realiza por parte del operario cuando la máquina extrusora pare por mantenimiento preventivo o por limpieza de boquilla y cambio de malla.

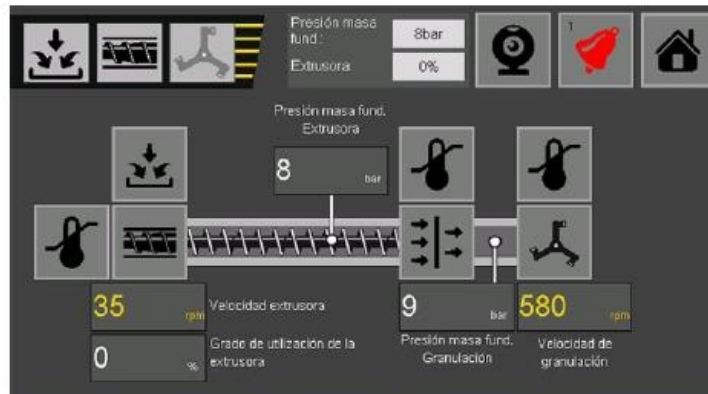
Ventana de temperaturas: Los valores nominales indicados pueden modificarse. Si el texto aparece en rojo, significa que se está calentando en este momento. Si el texto es azul, se está enfriando. Si el texto es negro, no tiene lugar ningún proceso de calentamiento ni enfriamiento.



Temperaturas extrusora				
Extrusora Zona 1	Extrusora Zona 2		Extrusora Adaptador	Zona
150 °C	149 °C		150 °C	Valor real
150 °C	150 °C		150 °C	Valor nominal
???	???		???	Estado

Ventana principal de arranque: Al arrancar el control de la máquina se abre automáticamente la ventana Visión general. Pulsando los símbolos se abren las ventanas con los detalles relativos al correspondiente menú principal.

Continuación del Apéndice 1.



Arranque en producción y utilización: Cuando las temperaturas llegan a lo programado en el extrusor y placa perforadora se inicia el arranque de las cuchillas del cabezal en automático, después de unos segundos el extrusor inicia igualmente. El material ya peletizado cae a un cajón previamente identificado con el material y este a su vez es succionado al componente programado en la máquina extrusora

(B) en un porcentaje programado por el proceso de diseño desarrollo. La alimentación siempre debe realizarse en la capa B. Cuando el área técnica considere necesario se creará una mezcla para aquellas fórmulas en las que técnicamente sea viable y dicho recuperado NGR debe alimentarse en un dosificador independiente. Si se cuenta con la suficiente cantidad para alimentación en línea debe usarse máximo al 7 %. De lo contrario puede usarse a menor concentración. No está autorizado por el área técnica utilizar dosificaciones por arriba del 7 %.

Continuación del Apéndice 1.

El registro de dosificación debe realizarse en un formato aparte ya que, para consumo del recuperado en línea de esta máquina, no se puede colocar en la formulación.

Todo material que durante el proceso de recuperación en línea que no se utilice por falta de componente para su asignación o el departamento de diseño y desarrollo no lo autorice debe ser pesado a la causa “recuperado en línea” para ser utilizado en otras máquinas y luego diligenciar el formato de reporte de traslados material peletizado máquina NGR/bodega peletizado para luego ser trasladado al área de peletizado para darle disposición.

El material conforme que se traslada al área de peletizado debe ser empacado en sacos de 25 kilos y ser identificados con el tipo de material y almacenados como producción para la venta de proveedores de subproductos, o utilizarlos en otras máquinas.

El material con defectos que sobra de la máquina recuperadora en línea es pesado al desperdicio como torta y llevado al área de peletizado para ser utilizado en la máquina peletizadora para volver hacer recuperado y utilizado para la venta de proveedores de subproductos.

	Control del Formato	Control del Registro
Código	F01/EXT-IN-05	F01/EXT-IN-05
Nombre	Reporte de traslados NGR	Reporte de traslados NGR
Almacenamiento	Carpeta Digital Sistemas de Gestión	Carpeta física traslados NGR

Continuación del Apéndice 1.

Protección	Sistemas de Gestión/ Jefe de Extrusión	Operador de extrusión
Recuperación	Por código y nombre	Por fecha
Tiempo de Retención	1 año	1 año
Disposición	Destrucción	desechar

Nota. Instructivo de uso para recuperadora en línea. Elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 2.

Formato de registro para medir la cantidad de material recuperado

REPORTE DE REGISTRO MATERIAL RECUPERADO NGR					F01/EXT-IN-05
					Versión 1
Mes	Pigmentación de material recuperado				N° de maquina
	Transparente	Blanco	Beige		
	Azul	Transparente	Negro		
Fecha:	Numero de lote	Tipo de material	Peso neto en kilos	Firma operador	Hora

Nota. Control de material recuperado máquina NGR. Elaboración propia.

Apéndice 3.

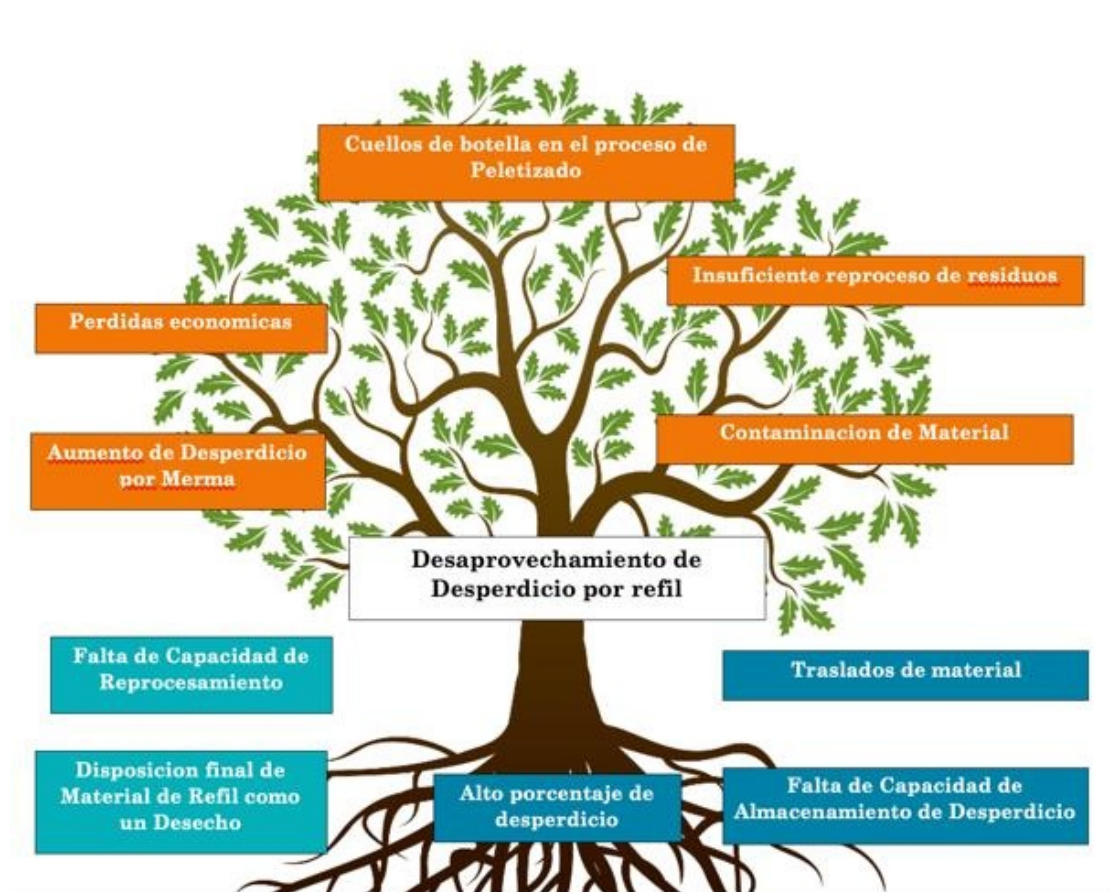
Matriz de coherencia

Problema de Investigacion	Alto porcentaje de desperdicio por refile en una línea de extrusion				
Pregunta de Investigacion	Objetivos de Investigacion	Metodologia	Variables	Dimensiones	Temario
Pregunta principal: ¿Es posible reducir el desperdicio en una línea de producción de extrusión por soplado a través de una maquinaria de recuperado en línea y lograr aumentar la productividad?	Objetivo general: Implementar una maquinaria de recuperado en línea en una empresa de empaques flexibles ubicada en Amatitlán, Guatemala.	Gestión de proyectos	Independientes: Recuperación de desperdicios Dependientes: Capacidad instalada de reproceso.	Kg/h	Preparación y evaluación de proyectos
Pregunta auxiliar: ¿Cuál será el impacto de la implementación?	Objetivo específico: Comparar el desperdicio mensual en una línea de producción posteriormente a la implementación de una maquinaria de recuperado en línea.	Kpi's	Independientes: Desperdicio Dependientes: Producción	Indicadores de desperdicio, meta de producción, kilogramos, toneladas	Medición del trabajo, indicadores de producción
Pregunta auxiliar: ¿Cómo se medirá la rentabilidad de la inversión planificada?	Objetivo específico: Realizar un análisis de beneficio costo de la inversión de una maquinaria de recuperado en línea.	Análisis financiero	Independientes: Rentabilidad Dependientes: Costos	Quetzales	Relación beneficio costo, eficiencia, pronósticos
Pregunta auxiliar: ¿Cómo comparar la productividad antes y después de la implementación?	Objetivo específico: Desarrollar un estudio de tiempos para comparar la producción de material recuperado en un proceso fuera de línea respecto uno en línea.	Estudio de tiempos	Independientes: Productividad, eficiencia Dependientes: Procesos,	Horas, minutos, kg/horas, kWh	Estudio de tiempos, 7 desperdicios en la industria, productividad.
Pregunta auxiliar: ¿Se podrá medir el impacto ambiental de la línea de producción?	Objetivo específico: Calcular la huella de carbono en el proceso de producción de empaque flexibles de polietileno.	Huella de carbono	Independientes: Huella de carbono Dependientes: Consumos energéticos	CO2e	Sostenibilidad

Nota. Resumen del proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 4.

Árbol de problemas



Nota. Árbol de problemas, objetivos y soluciones. Elaboración propia, realizado con PowerPoint.

ANEXOS

Anexo 1.

Manual de maquinaria NGR



La solución de repelletización compacta para películas de todo tipo

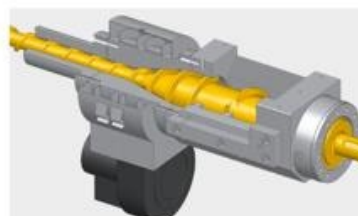
Tanto si se utiliza **en paralo a la producción** como si utiliza como **solución "off-line"**, la **E:GRAN** destaca, gracias a su innovador diseño de alimentación por corte para la óptima conversión de la película.

EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El triturado de las películas plásticas y/o recortes laterales de película soplada se realiza en la entrada directa de la extrusora. La zona de transporte cónica-descendente comprime el material triturado en la zona de la extrusora. De esta forma se evita la oxidación lo mejor posible.

Dentro de la extrusora, el material se calienta uniformemente hasta la temperatura de fusión y a continuación, se grancea.

La entrada del film (en la que tiene lugar el triturado), la zona del alimentador y la propia extrusora están conectados a un eje único. Conforme a esta estructura energéticamente eficiente, se necesita un solo accionamiento.



Esta combinación patentada de despedazadora-alimentador-extrusora caracteriza a todas las máquinas de la serie **E:GRAN**.

E:GRAN COMBINACIÓN DE DESPEDAZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

3

Continuación del Anexo 1.

Automática, inline

PROCESAMIENTO AUTOMÁTICO 24/7

E-GRAN está hecho para una producción con **cero residuos**. Todos los residuos de producción se reciclarán – y las veinticuatro horas del día.

CONTROL DE RENDIMIENTO AUTOMÁTICO

La velocidad de la extrusora se ajusta automáticamente a las cantidades variables de material.

Los innovadores **conceptos de control** garantizan una producción consistente y la mejor calidad del producto.



El procesamiento de la película es **extremadamente económico y respetuoso** con el medio ambiente.

E-GRAN COMBINACIÓN DE DESMENUZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

4

Suave, alta calidad

PRODUCTOS DE ALTA CALIDAD GRACIAS A TRATAMIENTO SUAVE

El material de película triturada es pre-comprimido y alimentado directamente a la extrusora.

Los husillos de la extrusora, especialmente desarrollados para el reciclado de película, permiten alcanzar la máxima homogeneidad del material fundido y procesan el material eficientemente con mínima pérdida de propiedades físicas.



Gentil operación gracias a la combinación patentada de desmenuzador-alimentador-extrusora

E-GRAN COMBINACIÓN DE DESMENUZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

5

Continuación del Anexo 1.

Compacta, limpia

PEQUEÑA PERO PODEROSA

Gracias a su **diseño compacto**, E:GRAN encuentra su lugar incluso en espacios pequeños.

LIBRE DE POLVO

Como el material de entrada es alimentado directamente al despedazador, el proceso es **extremadamente limpio**.

Su operación prácticamente **libre de polvo** permite que la máquina se instale incluso en naves de producción sensibles.



La E:GRAN **ahorra espacio** y ofrece el **máximo rendimiento** en el espacio más pequeño.

E:GRAN COMBINACIÓN DE DESPEDAZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

3

Independiente, autónoma

UN MANEJO FÁCIL Y SIN PROBLEMAS

La operación simple e intuitiva, mediante el claramente dispuesto, panel de pantalla táctil, así como el conveniente sistema automático de arranque y parada de un solo un botón, permiten una producción prácticamente **sin operador**.

El sistema de control asegura un proceso **libre de complicaciones**. En caso de una desconexión imprevista, la E:GRAN puede reiniciarse en menos de 2 minutos con la extrusora llena.

"La tecnología ONE-STEP permite una fácil operación sin pasos intermedios. ¡Un paquete integral sin preocupaciones!"

Andrea Hannerer
Sales Support



E:GRAN COMBINACIÓN DE DESPEDAZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

Continuación del Anexo 1.

Flexible, hecha a la medida

ESPECÍFICA PARA EL CLIENTE

Si se utiliza en paralelo a la producción o como solución "off-line", diferentes tipos de alimentación están disponibles (alimentador de bobinas ó separador de aire).

Dependiendo de las propiedades del material, la **E:GRAN** puede equiparse de forma flexible con desgasificación, cambiador de tamiz y diferentes sistemas de granceado.

Su versatilidad también permite que se integren al proceso principal posteriormente.



Configuración de máquina flexible **sobre pedido**.

E:GRAN COMBINACIÓN DE DESPEDAZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

8

E:GRAN De un vistazo



- 1) Alimentación de material vía **alimentador de bobinas** para la aplicación "off-line" o el **separador de aire** para los recorres laterales de película soplada (no en la foto).
- 2) La trituración del material de entrada tiene lugar en el **despedazador**.
- 3) En el **extrusor** el material se lleva a una temperatura de fusión uniforme.
- 4) **Desgasificación simple** para material ligeramente impreso o películas multicapa (no en la foto).
- 5) **Cambiador de tamiz** manual para filtrar el plástico fundido.
- 6) El **granceado** al final del proceso asegura gránulos uniformes.

E:GRAN COMBINACIÓN DE DESPEDAZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

10

Continuación del Anexo 1.

Granza – el resultado final

GRANZA DE ALTA CALIDAD
Más allá de su alta calidad, la **consistencia uniforme** de la granza permite también su mezcla homogénea con material virgen. De este modo, la **E-GRAN** garantiza las mejores condiciones para el procesamiento posterior y, por lo tanto, la calidad constante del producto final.

GRANCEADOS
Dependiendo de la aplicación, el **E-GRAN** está disponible con un granceador por cabezal aire caliente (HD) para termoplásticos de baja viscosidad (como PP, PE) o con un granceador por aire, especialmente diseñado para aplicaciones en línea.

E-GRAN COMBINACIÓN DE DESPEDAZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

Cifras, datos y hechos

	Ø del husillo de la extrusora (mm)	husillo de alimentación (mm)	máx.* (kg/h)	máx.* (lbs/h)
E-GRAN 50-12	50	120	50	110
E-GRAN 75-16	75	160	120	270

* Valores de rendimiento máximos para LDPE conforme a la norma de fábrica de NGR para máquinas no desgasificadas.

E-GRAN COMBINACIÓN DE DESPEDAZADORA-ALIMENTADOR-EXTRUSORA

Nota. Manual de uso. Obtenido de NGR (2024). *Manual informativo de sistema de recuperado en línea NGR.* (<https://ngr-world.com/product/egran/>), consultado el 01 de marzo de 2024. De dominio público.