

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		VERSIÓN	02
			FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): JOHAN ANDRÉS APELLIDOS: MARTÍNEZ AFANADOR

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): CAMILO ALBERTO APELLIDOS: FLÓREZ SANABRIA

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DEL DESPERDICIO EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE

PELÍCULAS DE POLIETILENO EN LA EMPRESA INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S. DE LA CIUDAD DE CÚCUTA

Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S. es una empresa manufacturera ubicada en la ciudad de Cúcuta, del departamento de Norte de Santander, dedicada a la fabricación de bolsas plásticas. Para llegar a la obtención de dichos productos, se realizan procesos como el de mezclado de materia prima, extrusión, sellado y corte. El estudio se desarrolló con la finalidad de realizar el análisis de las causas que generan desperdicio en el proceso de extrusión. Se determinó que las grandes pérdidas en el proceso de extrusión tienen su origen en la materia prima, dado al uso excesivo de material reciclado, el cual además no tiene un correcto proceso de limpieza y tratamiento, lo que hace que aumenten los tiempos de producción a razón de la difícil manejabilidad del producto. Se demostró que a falta de un plan de mantenimiento se incurre en prácticas que suponen afectaciones a las máquinas extrusoras, por tal motivo se realizó un plan de mantenimiento preventivo. Por último, se identificaron los posibles riesgos a los que está expuesto el personal presente en el área de extrusión y por medio de la aplicación de la matriz de riesgos se sugirieron medidas para aminorar los riesgos.

PALABRAS CLAVES

POLIETILENO, EXTRUSIÓN, SEGURIDAD INDUSTRIAL, MANTENIMIENTO

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 139 PLANOS: ILUSTRACIONES: CD ROOM:

ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DEL DESPERDICIO EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE
PELÍCULA DE POLIETILENO EN LA EMPRESA INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE
CÚCUTA S.A.S. DE LA CIUDAD DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

JOHAN ANDRÉS MARTÍNEZ AFANADOR

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

A NÁLISIS CAUSA RAÍZ DEL DESPERDICIO EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE
PELÍCULA DE POLIETILENO EN LA EMPRESA INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE
CÚCUTA S.A.S. DE LA CIUDAD DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER

JOHAN ANDRÉS MARTÍNEZ AFANADOR

DIRECTOR:

ING. CAMILO ALBERTO FLÓREZ SANABRIA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: CÚCUTA, 4 DE MARZO 2022

HORA: 02:00 P.m.

LUGAR: AULA SUR SALÓN SC 301

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO: "ANÁLISIS CAUSA RAÍZ DEL DESPERDICIO EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE PELÍCULAS DE POLIETILENO EN LA EMPRESA INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S. DE LA CIUDAD DE CÚCUTA, NORTE DE SANTANDER".

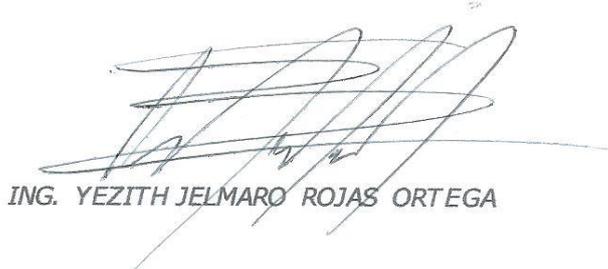
Jurados: ING. JAVIER AUGUSTO BARROS LEAL
ING. YEZITH JELMARO ROJAS ORTEGA

Director: ING. CAMILO ALBERTO FLÓREZ SANABRIA

Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
JOHAN ANDRÉS MARTÍNEZ AFANADOR	1121117	Cuatro, Uno	4.1

APROBADA


ING. JAVIER AUGUSTO BARROS LEAL


ING. YEZITH JELMARO ROJAS ORTEGA


Vo.Bo GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCÍA
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Mecánica

Tabla de contenido

Introducción	12
1. Problema	13
1.1. Título	13
1.1.1. Descripción del problema	13
1.2. Delimitaciones	14
1.2.1. Geográfica	14
1.2.2. Conceptual	14
1.2.3. Operativa	15
1.2.4. Temporal	15
1.3. Definición del problema	15
1.4. Formulación del problema	15
2. Justificación	16
2.1. A nivel técnico	16
2.2. A nivel social	18
2.3. A nivel económico	18
3. Objetivos	19
4. Recursos	20
4.1. Requerimientos	20
4.1.1. Humanos	20
4.1.2. Locativos	20
4.1.3. Instrumentales	20
4.1.4. Materiales	21
5. Alcances y limitaciones	22
5.1. Alcances	22
5.2. Limitaciones	22
6. Marco de referencia	24
6.1. Antecedentes	24
6.2. Marco teórico	26
6.2.1. Materiales plásticos	26
6.2.2. Elementos de máquinas que forman la máquina extrusora.	26
6.2.3. Tolva de alimentación	27
6.2.4. Cilindro o barril	28
6.2.5. Resistencias eléctricas de calefacción	29
6.2.6. Tornillo de extrusión	30
6.2.7. Cabezal y boquilla	32

6.2.8.	Proceso de extrusión de película soplada	32
6.2.9.	Diagrama de Pareto	33
6.2.10.	Diagrama de Ishikawa	34
6.2.11.	Ciclo de la calidad o ciclo (PHVA)	34
6.2.12.	Mantenimiento	35
6.2.13.	Polietileno de alta densidad	35
6.3.	Marco legal	36
7.	Diseño metodológico	37
7.1.	Tipo de investigación	37
7.1.1.	Instrumentos para la recolección de información	38
7.1.2.	Recolección de información primaria	38
7.1.3.	Recolección de información secundaria	38
7.2.	Metodología	38
8.	Cronograma de actividades	40
9.	Resultados	41
9.1.	Identificación del proceso y cuantificación del desperdicio	41
9.1.1.	Análisis y descripción del proceso global de la empresa	41
9.1.2.	Clasificación del desperdicio	50
9.1.3.	Cuantificación del desperdicio	51
9.2.	Análisis de las causas del desperdicio	52
9.2.1.	Análisis de las causas	52
9.2.2.	Análisis causa raíz	53
9.2.3.	Ciclo de la calidad (PHVA)	57
9.3.	Metodología Guía Técnica Colombiana GTC 45 aplicado al área de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta	84
9.3.1.	Identificación de peligros	84
9.3.2.	Valoración de los riesgos	84
9.3.3.	Evaluación de los riesgos	85
9.3.4.	Caracterización del proceso de extrusión y determinación de los posibles peligros por desarrollo de dicha actividad.	90
9.3.5.	Medidas de prevención y control de los riesgos en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta	98
9.4.	Actividades de mantenimiento requeridas en el área de extrusión	106
9.4.1.	Disposición de equipos en planta	106
9.4.2.	Codificación de las máquinas	107
9.4.3.	Codificación de máquinas y equipos	108
9.4.4.	Tarjeta maestra de datos	109
9.4.5.	Formato hoja de vida	110

9.4.6. Maestro de actividades	111
9.4.7. Instructivo de mantenimiento	112
9.4.8. Orden de trabajo	114
9.4.9. Cronograma de actividades	115
Conclusiones	117
Recomendaciones	118
Bibliografía	119
Anexos	122

Lista de tablas

Tabla 1. Cronograma de actividades del trabajo de grado	40
Tabla 2. Turnos laborales	51
Tabla 3. Control de desperdicios desde marzo a junio del 2021	52
Tabla 4. Análisis de proceso aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S	55
Tabla 5. Análisis de Pareto aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.	56
Tabla 6. Símbolos de actividades ejecutadas en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.	73
Tabla 7. Tiempo proceso de extrusión	76
Tabla 8. Tabla evaluación de riesgos	86
Tabla 9. Nivel de exposición	86
Tabla 10. Nivel de probabilidad	87
Tabla 11. Nivel de deficiencia	88
Tabla 12. Nivel de consecuencias	88
Tabla 13. Nivel de riesgo	88
Tabla 14. Grado de aceptabilidad	89
Tabla 15. Nivel de consecuencias	89
Tabla 16. Elementos de protección personal	99
Tabla 17. Señales de prevención de riesgos	103
Tabla 18. Plan de acción para el cumplimiento de las medidas de control	104
Tabla 19. Lista de máquinas y equipos	107
Tabla 20. Códigos asignados al área de extrusión	108

Lista de figuras

Figura 1. Máquina extrusora de husillo sencillo	27
Figura 2. Tolva de alimentación	28
Figura 3. Extrusora	29
Figura 4. Resistencias de abrazadera con ahorro de energía	30
Figura 5. Zonas de una extrusora y cambio de presión a lo largo de las mismas	31
Figura 6. Máquina extrusora	33
Figura 7. Polietileno de alta densidad	36
Figura 8. Almacenamiento de productos	42
Figura 9. Mezcladora	43
Figura 10. Tablero de control caja abierta	44
Figura 11. Tablero de control caja cerrada	44
Figura 12. Torre rodillo jalador	45
Figura 13. Selladora rápida de corte caliente	46
Figura 14. Selladora de corte frío	46
Figura 15. Aglutinadora	47
Figura 16. Embalaje de bolsa plástica	48
Figura 17. Medidas de bolsa plásticas en base a su capacidad	48
Figura 18. Proceso global de la empresa para la producción de bolsa plástica	49
Figura 19. Residuo del área de sellado y corte	51
Figura 20. Diagrama de Ishikawa aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.	54
Figura 21. Diagrama de Pareto aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.	57
Figura 22. Molécula de polietileno	58
Figura 23. Estructura de cadena de diferentes tipos de polietileno	59
Figura 24. Algunas propiedades de los polietilenos de alta y baja densidad	59
Figura 25. Diagrama de flujo para el procesado de material plástico reciclado	62
Figura 26. Efecto de la composición en el punto de fusión de las mezclas	64
Figura 27. Efecto de la composición en la cristalinidad de las mezclas	65
Figura 28. Efecto de la composición en la densidad de las mezclas	65
Figura 29. Efecto de la composición sobre el índice de fluidez	66
Figura 30. Efecto de la composición sobre el módulo de flexión	66

Figura 31. Efecto de la composición en la elongación hasta la ruptura	67
Figura 32. Resistencia máxima a la tracción según el contenido de PEADr	68
Figura 33. Alargamiento a la rotura según el contenido de PEADr	69
Figura 34. Módulo de Young según el contenido de PEADr	70
Figura 35. Límite de fluencia según el contenido de PEADr según el contenido de PEADr	70
Figura 36. Resistencia al rasgado según el contenido de PEADr según el contenido de PEADr	71
Figura 37. Ensayo Melt Flow Index según el contenido de PEADr	72
Figura 38. Diagrama de operaciones aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.	74
Figura 39. Lectura de consumo de energía	75
Figura 40. Gráfico consumo de energía vs proceso de extrusión	77
Figura 41. Página de Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS)	77
Figura 42. Tarifa de energía regida en el mes junio de 2021	78
Figura 43. Bolsa plástica producto de mezcla con contenido 75% de PEADr	80
Figura 44. Bolsa plástica con PEADv	80
Figura 45. Rodillo jalador con silicona	83
Figura 46. Ficha de registro de asistencia	105
Figura 47. Ficha de registro de accidentes en el trabajo	105
Figura 48. Ficha registro de ausentismos	106
Figura 49. Distribución de maquinaria en planta	107
Figura 50. Tarjeta maestra de datos	110
Figura 51. Formato hoja de vida	111
Figura 52. Maestro de actividades	112
Figura 53. Instructivo de mantenimiento	114
Figura 54. Orden de trabajo	115
Figura 55. Cronograma de actividades	116

Lista de anexos

Anexo 1. Matriz GTC 45 Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.	122
Anexo 2. Tarjeta maestra de datos máquinas extrusoras	122
Anexo 3. Instructivos de mantenimiento máquinas extrusoras	123
Anexo 4. Cronograma de actividades de mantenimiento máquinas extrusoras	136

Introducción

Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S. es una empresa manufacturera ubicada en la ciudad de Cúcuta, del departamento de Norte de Santander, dedicada a la fabricación de bolsas plásticas de capacidad de 2, 3, 5, 10, 15, 20 y 25 kg. La gran mayoría de estos productos se distribuyen en tiendas de pequeña y mediana capacidad. Para llegar a la obtención de dichos productos, se realizan procesos tales como el de mezclado de materia prima, extrusión, sellado y corte, siendo el proceso de extrusión el más esencial de ellos, pues este es el encargado de crear la película de polietileno a la que luego solo se le agregan detalles finales.

El estudio se desarrolló con la finalidad de realizar el análisis de las causas que generan desperdicio en el proceso de extrusión, ya que éstas representan grandes inconvenientes no solo en materia de producción, sino también en consumo de energía eléctrica y tiempo de producción de los operarios. Además, se desarrolló un protocolo de seguridad industrial con el fin de brindar al operario conocimiento sobre normatividad y seguridad industrial que facilitaron el desarrollo de sus labores en el área de extrusión.

Para la empresa es importante llevar un control sobre la cantidad de desperdicio que se produce en cada uno de los procesos hasta llegar a la elaboración del producto final con el objetivo de analizar cuáles son las variables que más influyen en la pérdida de materia prima. Este trabajo ayudó a finalizar el control en la sección extrusión dando solución a parte del problema que ha tenido un efecto perjudicial para la empresa.

Los factores se estudian mediante metodologías de análisis en el área de mantenimiento, análisis causa raíz, el cual es un medio útil para hacer estudios a problemas teniendo conocimiento sobre las variables que influyen en el proceso, donde además se agregan las actividades de mantenimiento requeridas en la máquina extrusora.

1. Problema

1.1. Título

Análisis causa raíz del desperdicio en el proceso de extrusión de película de polietileno en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S. de la ciudad de Cúcuta, departamento de Norte de Santander.

1.1.1. Descripción del problema

Una definición amplia al proceso de extrusión, hace referencia a cualquier operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un artículo de sección transversal constante y, en principio de longitud indefinida (Beltrán & Marcilla, 2011).

El proceso de extrusión es uno de los más importantes en la industria de transformación de plásticos. Entre los productos que se pueden manufacturar se encuentra: tubería, manguera, fibras, película y una ilimitada cantidad de perfiles. El proceso de extrusión se emplea, además para mezclar y formular compuestos de material plástico y producir materia prima como por ejemplo gránulos de concentrado de compuesto (Ramos, 1993).

En el proceso de obtención de películas sopladas para la fabricación de bolsas de plástico, la extrusora cuenta con una boquilla anular, dirigida generalmente hacia arriba, por el interior de la boquilla se inyecta aire que queda confinado en el interior del material que sale por la boquilla y es contenido en forma de burbuja por un par de rodillos en la parte superior, esto con el fin de enfriar el material, confiriéndole las propiedades a la película de polietileno.

La empresa Industrias Plásticas De Cúcuta S.A.S., al ser una empresa de pequeña producción, no cuenta con los suficientes recursos para mantener el suministro de material base en el proceso de extrusión, por ende, las máquinas extrusoras se someten a varias paradas

durante los periodos de trabajo. Al encender las máquinas, se debe realizar la calibración de parámetros tales como temperatura en las diferentes zonas, revoluciones por minuto del tornillo sin fin, velocidad en los trenes de rodillos, entre otras. Una mala calibración representa para la empresa una menor productividad, consumo de energía en vano, tiempo perdido en la jornada laboral del operario y retrasos en las otras áreas del proceso de producción. También se debe tener riguroso control sobre el estado de los elementos de máquinas y componentes electrónicos que actúan en el sistema.

Los controles realizados por la empresa, dan indicio de que gran cantidad de material base se pierde al momento de la calibración de la máquina extrusora, que se traduce en pérdida de eficiencia en el proceso, lo que se traduce en un incremento de los costos, por tal razón estas se deben tratar de minimizar para mejorar la eficiencia del proceso de producción. También prioriza la implementación de un protocolo de seguridad industrial con el fin de asegurar el correcto desarrollo de actividades y prevenir accidentes en el área de extrusión.

1.2. Delimitaciones

1.2.1. Geográfica

El trabajo se realiza en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S., ubicada en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

1.2.2. Conceptual

Para el desarrollo del trabajo de grado se trataron temas relacionados con análisis de falla, procesos de manufactura, resistencias de materiales, mantenimiento, SST y propiedades fisicoquímicas de los materiales.

1.2.3. Operativa

El trabajo de grado se elaboró con base en los parámetros entregados por la empresa con la asesoría de diferentes operarios, como personal administrativo, pudiéndose cumplir a cabalidad con los objetivos propuestos.

1.2.4. Temporal

En el desarrollo del trabajo de grado se estimó un lapso de tiempo de 12 semanas de ejecución.

1.3. Definición del problema

La empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S., dedicada a la producción y venta de bolsas plásticas dentro de la región de Norte de Santander presenta grandes pérdidas de materia prima en el proceso de extrusión.

1.4. Formulación del problema

¿Cuál será la variación en los resultados del proceso de extrusión después de haber realizado un análisis causa-raíz junto con actividades de mantenimiento y cómo será beneficiada la empresa al establecer un protocolo de seguridad industrial en el trabajo para las máquinas extrusoras?

2. Justificación

2.1. A nivel técnico

La factibilidad de una empresa tiene una relación directa con la productividad, de esta forma se hace propicio que las empresas desarrollen metodologías que permitan aumentar sus utilidades, estas buscan evaluar el rendimiento en distintos factores de producción con el fin de establecer la relación costo – beneficio entre servicios, cantidad de bienes y recursos utilizados (Peña & Mendoza, 2009).

En la industria, un nivel de referencia ideal es aquel en donde las entradas y salidas marcan una relación 1/1. A razón de distintos factores como el desperdicio, no siempre es posible cumplir con dicha relación, por tal motivo, se diseñan alternativas para alcanzar niveles ideales de producción, una de estas es aumentar las salidas utilizando las mismas entradas, esto se logra incrementando los niveles de productividad del proceso, así se reducen costos en materia prima, se genera un mayor consumo, lo que produce una mayor demanda, mayor cantidad de puestos de trabajo y mayores ganancias para la misma empresa. (Peña & Mendoza, 2009).

La elaboración de un proceso productivo se fundamenta en el uso de recursos de diferente tipo como lo son la materia prima, máquinas, recursos naturales, mano de obra ... etc. De esta forma se logra la producción final de un producto o servicio. A medida que el producto avanza por la cadena de producción, a este se le añade valor o no, ejemplo de este último caso es el desperdicio, en donde las actividades de producción no generan valor económico. Por tal motivo, para sostener altos niveles de productividad, es necesario realizar periódicamente evaluaciones que permitan conocer cómo se utiliza la materia prima y de esta forma controlar variables que conlleven a una reducción del desperdicio y al uso de las cantidades estrictamente

necesarias de materia prima, lo cual permite a las empresas aminorar gastos en productividad y aumentar sus niveles de competitividad. (Peña & Mendoza, 2009).

Sanzol Lorenzo (2010) en su trabajo de grado “implantación del plan de mantenimiento TPM en planta de cogeneración” escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación, Pamplona, España. Define el mantenimiento industrial como “técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar revisiones, engrases y reparaciones eficaces, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los operadores de las máquinas, a sus usuarios, y contribuyendo a los beneficios de la empresa. Es un órgano de estudio que busca lo más conveniente para las máquinas, tratando de alargar su vida útil de forma rentable para el usuario”.

El análisis causa raíz que es un método cualitativo de análisis de falla y hace parte de las herramientas utilizadas en diferentes áreas de mantenimiento, utiliza la lógica para lograr identificar las causas responsables de una falla. También permite identificar la mejor solución para corregir la causa identificada y cómo realizar su seguimiento, esta metodología se basa en el árbol lógico de falla, la deducción y verificación de los hechos para encontrar el origen de una falla permite aprender de las mismas y eliminar las causas en vez de solo corregir los síntomas. El objetivo es determinar el origen de las causas físicas, humanas y latentes de una falla, la frecuencia con la que aparece y el impacto que genera por medio de un estudio minucioso de los factores, circunstancias y diferentes elementos que podría mitigar o eliminar por completo la falla una vez tomadas las acciones correctivas que sugiera el análisis, mejorando la seguridad, la confiabilidad, mantenibilidad y la disponibilidad de los equipos. (Vera, 2011). Por tal motivo este tipo de herramienta es vital para el desarrollo del problema que se estudió, pues se determinaron las principales causas que están generando desperdicio en el proceso de extrusión en la empresa Industrias Plásticas De Cúcuta S.A.S. que es una empresa que intenta ser competitiva dentro de la industria de bolsa plástica en el departamento de Norte

de Santander, alargando la vida útil de las máquinas y generando una mayor eficiencia en todo el proceso de extrusión, lo que inmediatamente se traduce en ahorro de recursos, tanto energético, como de personal, materia prima y de elementos de máquinas.

2.2. A nivel social

Se aprovechó las herramientas impartidas por el Plan de Estudios de Ingeniería Mecánica como lo son los cursos de mantenimiento y procesos de manufactura, y que ayudó a mejorar las competencias en estas áreas de vital importancia en la ingeniería actualmente.

2.3. A nivel económico

Se contribuyó a la empresa Industrias Plásticas De Cúcuta S.A.S. en la mejora del proceso de extrusión, el cual es uno de los más importantes en el desarrollo del producto comercializado por esta. Así de esta manera se redujo costos en producción y se espera alargue la vida útil de los elementos de máquinas usados en dicho proceso.

Sistematización del problema

En el desarrollo del trabajo de grado se tuvo en cuenta las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los problemas del proceso de extrusión?
- ¿Cuáles son las recomendaciones que dan solución a los problemas del proceso de extrusión?
- ¿Cuáles son las actividades de mantenimiento que se deben implementar en el proceso de extrusión?
- ¿Cuáles son los protocolos de seguridad industrial que llevarán a una correcta operación de las máquinas extrusoras?

3. Objetivos

El objetivo general del trabajo de grado fue:

Elaborar el análisis causa raíz del desperdicio en el proceso de extrusión de películas de polietileno en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander.

En el desarrollo del trabajo de grado se cumplieron los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y cuantificar las posibles causas que generan desperdicio en el proceso de extrusión de película de polietileno de alta densidad para la producción de bolsas de distintas capacidades, con la finalidad de encontrar y analizar los verdaderos orígenes que ocasionan dicho problema.
- Formular recomendaciones que den solución a los orígenes reales que producen el desperdicio con la finalidad de lograr una considerable reducción en la cantidad de materia prima desperdiciada.
- Identificar las actividades de mantenimiento requeridas para las máquinas extrusoras.
- Determinar los protocolos de seguridad industrial que lleven a una correcta operación de la máquina extrusora y seguridad de los operarios.

4. Recursos

4.1. Requerimientos

4.1.1. Humanos

- Johan Andrés Martínez Afanador en el desarrollo del trabajo de grado.
- Dirección del trabajo de grado por parte del director, Ingeniero Mecánico. MSc. Camilo Alberto Flórez Sanabria.
- Personal administrativo de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S., para conocimiento sobre cantidad de material provisto, efectivo y desecho para el proceso de extrusión.
- Operarios del proceso de extrusión, para conocimiento del comportamiento de las máquinas extrusoras.
- Jefe de mantenimiento, para conocimiento de los procesos realizados a las máquinas extrusoras.

4.1.2. Locativos

- Empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.
- Biblioteca Eduardo Cote Lamus – Universidad Francisco de Paula Santander

4.1.3. Instrumentales

- Máquinas extrusoras.
- Computador portátil.
- Diagrama de Pareto.
- Diagrama de Ishikawa.
- Ciclo de calidad o ciclo (PHVA).

- Libros de mantenimiento, procesos industriales y normatividad industrial.
- Internet.

4.1.4. Materiales

- Recursos de movilidad.
- Recursos de fotocopias.
- Recursos para cuadernos.
- Recursos para lapiceros.
- Recursos para artículos web.
- Recursos para internet.
- Energía eléctrica.
- Recursos para alimentos.
- Recursos para pie de rey.

5. Alcances y limitaciones

5.1. Alcances

El desarrollo del trabajo de grado pretendió dar una solución a los problemas de extrusión que se presentan en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S mediante técnicas conocidas en el área de mantenimiento como el diagrama de Pareto e Ishikawa, ciclo de la calidad o ciclo (PHVA), análisis causa raíz, junto con protocolos de seguridad industrial, con el fin de mejorar tanto el rendimiento, como la seguridad durante el desarrollo del proceso de producción, que representan para la empresa un alto costo en materia de inversión de personal, materia prima, energía y producción, por lo que urge establecer parámetros que mediante la evaluación, análisis, corrección y mejoras, van a hacer más amenas las condiciones de uso y llevarán a mejorar los niveles de productividad en la empresa.

La metodología implementada en el desarrollo del trabajo de grado, servirá como material académico para el desarrollo de otros trabajos a futuro que se relacionen con el área de mantenimiento y producción de productos plásticos.

5.2. Limitaciones

- El Comité Curricular del programa de Ingeniería Mecánica aprobó un lapso de tiempo de mínimo 12 semanas para la realización del presente trabajo de grado.
- El material de consulta se limitó a documentos de sitio web, libros virtuales y material académico disponible de manera virtual por parte de la Universidad Francisco de Paula Santander y bases de datos de libre acceso.
- Los documentos sobre la gestión del proceso de extrusión se restringieron a los documentos brindados por el personal administrativo de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

- No se ejecutó ninguna programación para la sistematización de actividades de mantenimiento para el área de extrusión.

6. Marco de referencia

6.1. Antecedentes

Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad y el máximo rendimiento.

En el ámbito internacional Elio Rafael, Hernandez Yurima & Labañino Jorge (2016), en su trabajo “Sistema de mantenimiento para la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en Holplast” (Bachelor's thesis, Universidad de Holguín, Cuba, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica). Concluyen que “En la última década, las estrictas normas de calidad certificada que se deben cumplir, así como la intensa presión competitiva entre industrias del mismo rubro para mantenerse en el mercado nacional e internacional, ha estado forzando a los responsables del mantenimiento en las plantas industriales a implementar los cambios que se requieren para pasar de ser un departamento que realiza reparaciones y cambia piezas y/o máquinas completas, a una unidad de alto nivel que contribuye de gran manera en asegurar los niveles de producción. Es por tanto necesario hacer notar que la actividad de “mantener”, si es llevada a cabo de la mejor manera, puede generar un mejor producto lo que significa producción de mejor calidad, en mayor cantidad y con costos más bajos”, además, hace especial énfasis en que “la aplicación del análisis de modos de fallos y efectos (AMFE) permitió identificar la totalidad de causas de fallos y sus consecuencias en las líneas de extrusión estudiadas durante el desarrollo del proyecto, lo que sirvió de base para la selección del sistema de mantenimiento a emplear en la línea de extrusión”.

En otro caso el estudio realizado por Espin Joaquin (2015), quien en su trabajo realiza una “propuesta para corregir las deficiencias en el área de extrusión durante el proceso de producción de fundas de polietileno en la empresa MIGPLAS S.A”, en la Universidad de Guayaquil, Ecuador. Hace mención de algunos de los problemas que encontró en el proceso de

extrusión de dicha empresa, entre los cuales menciona tres importantes divisiones a estudiar, que posteriormente pasan a ser subgrupos, estos son respecto a la materia prima, aspectos relacionados con las máquinas y sobre el recurso humano. También se hace un análisis de las horas improductivas en el área de extrusión dadas las actividades de mantenimiento que se realizan a las máquinas, paradas imprevistas, fallas en las máquinas, fallas en el proceso, y falta de stock, la cual se relaciona directamente con el presente trabajo de grado, pues dada la clasificación de la empresa como pequeña, esta también sufre del mismo problema, falta de material, lo que representa un factor negativo en materia de producción y a nivel de vida de las máquinas. Para llevar a cabo el diagnóstico y llegar a alternativas de solución hace uso de herramientas como el diagrama de Pareto e Ishikawa, el diagrama plantea la relación beneficio – costo en materia de producción y después se plantea una propuesta de solución a las variables que representaron mayores gastos a la empresa.

A nivel nacional, en el área de mantenimiento aplicado al proceso extrusión se halló el estudio realizado por Tapia María (2011), en el trabajo “diseño de plan de mantenimiento predictivo para la línea de extrusión producción – bolsas plásticas en la empresa Kalusin importing Company (Kiko S.A)” Universidad tecnológica de Bolívar, en donde se concluyó que “El cálculo de los indicadores de efectividad permitió evaluar el estado del mantenimiento a las máquinas que comprenden el proceso de extrusión de la línea de producción de bolsa plástica, además, realizar un análisis de criticidad a los equipos de la línea extrusión de bolsa plástica, posibilitó jerarquizar los activos, para llevar a cabo el diseño de un programa de mantenimiento predictivo en donde priman aquellos que registraron mayor frecuencia de fallas imprevistas, tiempos promedios en reparación, impacto en la producción, costos de reparación, impactos en la seguridad personal, impactos ambientales e impacto de satisfacción al cliente”.

A nivel regional, el trabajo realizado por Barbosa Jhon (2017), en el cual hace el “Diseño de una máquina extrusora de plástico para los productores de manguera en Ocaña”

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, en el apéndice 22, hace mención de “recomendaciones para el mantenimiento en función de la máquina extrusora diseñada, como; cambio de malla o filtro, procedimiento para llevar a cabo la limpieza de la extrusora, limpieza del cilindro de extrusión, limpieza del cabezal o matriz, limpieza del sistema de aire” todos estos parámetros pueden servir como variables de estudio a la hora de determinar cuáles son los problemas que están afectando el proceso de extrusión en la empresa en la que se va desarrollar el presente estudio.

6.2. Marco teórico

6.2.1. Materiales plásticos

En el manual Plásticos Protocolo del curso de procesos de manufactura de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito del año 2007 se define a los materiales plásticos como “Son compuestos constituidos por moléculas que forman estructuras muy resistentes, que permiten moldeado mediante presión y calor. La American Society for Testing Materials (ASTM) define como plástico a cualquier material de un extenso y variado grupo que contiene como elemento esencial una sustancia orgánica de gran peso molecular, siendo sólida en su estado final; ha tenido o puede haber tenido en alguna etapa de su manufactura (fundido, cilindrado, prensado, estirado, moldeado, etc.) diferentes formas de fluidificación, mediante la aplicación, junta o separada, de presión o calor.

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas”.

6.2.2. Elementos de máquinas que forman la máquina extrusora.

En la figura 1 se observa una máquina extrusora de husillo sencillo donde se ven sus componentes.

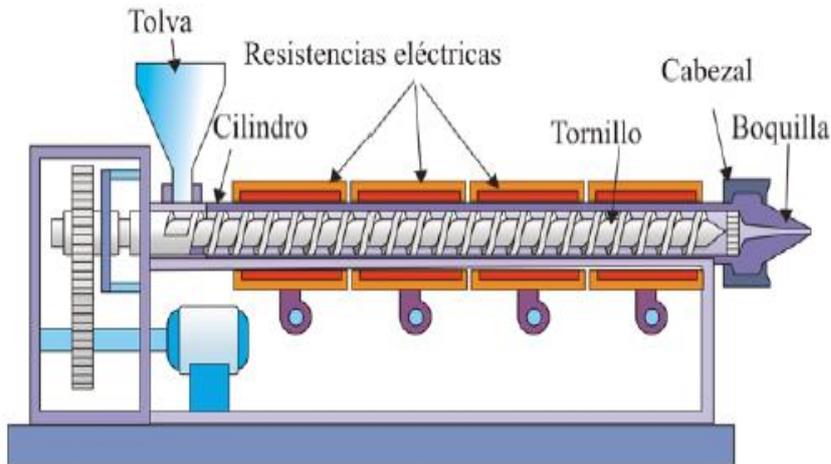


Figura 1. Máquina extrusora de husillo sencillo

Fuente: Beltrán, M. & Gomis M. Tecnología de los polímeros, Universidad de Alicante.

6.2.3. Tolva de alimentación

Córdova Steven y Sandoval Jorge (2016) en su trabajo de grado “Diseño de un sistema de mezclado continuo para la producción de suelo estabilizado con cemento” Escuela Superior Técnica de Litoral, Guayaquil, Ecuador. Definen una tolva con dosificador de tornillo sin fin como “Tolva cónica que en su sección de descarga la atraviesa uno o varios tornillos sin fin de un paso determinado. El paso del tornillo significa el volumen dosificado requerido. El tornillo sin fin se encuentra acoplado a un motor eléctrico. La dosificación tendrá relación directa con la velocidad de giro del motor, y puede tener una actividad continua o intermitente. Generalmente dosifican materiales particulados semi-secos y secos de manera continua”.

En la figura 2, se observa una tolva de alimentación, cabe resaltar que tanto la boquilla como su garganta deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que pueda proveer un flujo constante de material. La forma en la que se consigue esto más fácilmente es con tolvas de sección circular, las cuales tienen superioridad sobre las de sección rectangular.

Se diseñan a fin de que permita almacenar material para uso de 2 horas de trabajo (Beltrán & Marcilla, 2011).



Figura 2. Tolva de alimentación

6.2.4. Cilindro o barril

En la figura 3, se observa un cilindro o barril de una de las máquinas extrusoras presentes en la empresa en la que se desarrolló el trabajo de grado. También se conoce como cilindro de calefacción, dado a que se pueden encontrar resistencias eléctricas ubicadas a lo largo de su longitud. Para evitar desgastes mecánicos y de corrosión estos cilindros se suelen fabricar en aceros muy resistentes, en algunos casos vienen con un revestimiento bimetálico para alcanzar una mayor resistencia. Es importante resaltar que el tornillo de extrusión está ubicado en el interior del cilindro, por consiguiente, existe un proceso de transferencia de calor, ya que posee resistencias eléctricas ubicadas a lo largo de toda su sección, como se mencionó anteriormente. También se pueden encontrar en el cilindro encamisados con fluidos ya sea para calefacción o de refrigeración, aunque estos son poco usuales (Escobar, Andrés, & Rodríguez, 2015).

El calentamiento se puede realizar mediante resistencias eléctricas circulares localizadas en toda la longitud o mediante radiación o encamisado con refrigerantes o calefactores, aunque estos dos últimos métodos suelen ser menos usados. El cilindro se divide en tres zonas de calefacción, cada una con control independiente a través del tablero de control,

lo que permite obtener un gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta la boquilla (Beltrán & Marcilla, 2011).



Figura 3. Extrusora

Especificaciones: marca Bausano con 2 husillos contra rotantes: 140 mm 28D, motor de 50 cv, caja de cambios de 6 velocidades, referencia: GT-1297, año: 2008

Fuente: Interempresas.net

6.2.5. Resistencias eléctricas de calefacción

Las resistencias calentadoras, como las que se presentan en la figura 4, convierten energía eléctrica en calor. El descubrimiento de las resistencias eléctricas se dio en el año 1841 cuando James Prescott Joule descubre que, al lograr la circulación de corriente eléctrica a través de un material conductor, una parte de la energía contenida en los electrones se transforma en calor. Las resistencias se han diseñado en gran diversidad de materiales, pero el más común consiste en una aleación de níquel – cromo en porcentaje de 80 y 20% respectivamente, está

combinación además de alcanzar altas temperaturas, tiene gran resistencia a los impactos y es inoxidable (Barbosa, 2017).



Figura 4. Resistencias de abrazadera con ahorro de energía

Fuente: *electriequipos.co*

6.2.6. Tornillo de extrusión

Se describe como una de las partes más esenciales en el proceso de extrusión, el husillo, como el que se presenta en la figura 5, generalmente se divide en tres zonas, estas son: de transporte, zona de transición o compresión y, por último, zona de dosificación. A continuación, se describe la función de cada una de las zonas mencionadas:

- **Zona de alimentación:** Es en donde entra el material base, este puede ser polímero de alta densidad o peletizado junto con polietileno, a medida que el tornillo gira, las hélices del sin fin arrastran el material hacia la siguiente zona (Escobar, Andrés, & Rodríguez, 2015).
- **Zona de transición o compresión:** el canal y el sinfín trabajan de forma inversamente proporcional, pues a medida que el canal se hace más pequeño, el diámetro del sin fin tiende a hacerse mayor, lo que produce la compresión del material, además al haber

transferencia de calor por parte de las resistencias, el material se calienta hasta llegar a su punto de fusión (Escobar, Andrés, & Rodríguez, 2015).

- Zona de dosificación: En esta parte la profundidad del canal es mínima, y se logra calentar de manera homogénea el material, la reducción del área crea una bomba, por lo que el material es obligado a salir de manera constante y sin turbulencia (Escobar, Andrés, & Rodríguez, 2015).
- Dispositivo de mezclado: En la zona de dosificación se obtiene un flujo laminar, en el que puede que no siempre se produzca una buena mezcla y pueda quedar material base en forma sólida, siendo este un estado no deseado. Una forma para dar solución a dicho problema es proveer un dispositivo mezclador al husillo, volviendo al flujo turbulento, lo que conllevará a homogeneizar la mezcla (Escobar, Andrés, & Rodríguez, 2015).

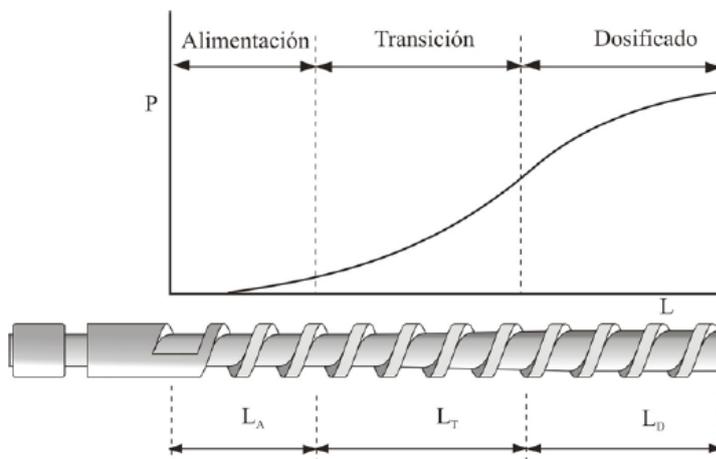


Figura 5. Zonas de una extrusora y cambio de presión a lo largo de las mismas

Fuente: Beltrán, M. I. Tecnología de los polímeros, Universidad de Alicante.

En el proceso de extrusión se utilizan materiales termoplásticos, dependiendo del producto a elaborar se puede utilizar polietileno de alta, lineal de baja y de baja densidad, bien sea en combinaciones con otros materiales o combinados entre ellos para obtener un producto con características superiores. Los parámetros de producción varían según el tipo de material empleado, dado a que cada uno presenta características diferentes en cuanto a viscosidad, calor específico, temperatura de fusión ... etc. A la hora de diseñar el husillo se deben considerar los

parámetros mencionados anteriormente, pues difícilmente un husillo determinado va a trabajar de manera correcta con diferentes materiales (Barbosa, 2017).

6.2.7. Cabezal y boquilla

El cabezal se encuentra situado al final del cilindro en donde también sujeta la boquilla y sostiene el plato rompedor. La función del perfil interno del cabezal es permitir el flujo del material a la boquilla.

El material que está contenido dentro del cilindro o barril es empujado a través de un tornillo sin fin que llega al cabezal. Los hilos del tornillo se diseñan a fin de mantener constante el flujo y la velocidad del material (Beltrán & Marcilla, 2011).

La boquilla debe cumplir con la función de dar la forma final al material. En el mercado existen distintos tipos y tamaños según el producto a fabricar. Para productos de forma cilíndrica como tubería PVC o mangueras se usa una boquilla circular, para láminas o planchas se hace uso de una boquilla plana (Barbosa, 2017).

6.2.8. Proceso de extrusión de película soplada

El proceso de extrusión básicamente opera en la siguiente forma: el plástico en forma de gránulos alimenta una tolva que permite el paso de material a la extrusora; el tornillo de la extrusora funde (derrite) el plástico y lo bombea en forma semi-líquida a través del dado, el cual confiere la forma deseada. Del dado, el material pasa por el sistema de enfriamiento y de calibración a fin de darle las dimensiones requeridas. La extrusión de la película soplada se realiza por una línea de extrusión. La película se extruye como un tubo continuo, se enfría y enrolla en carretes (torre de enrollado) o se divide por la mitad, con una cuchilla cortante para doblar su anchura (Vasquez, 2005). En la figura 6, se observa la máquina extrusora utilizada

en la empresa objeto de este estudio durante la ejecución del proceso de extrusión de bolsa plástica de 2kg.



Figura 6. Máquina extrusora

6.2.9. Diagrama de Pareto

Sales Matías (2013) en el documento de “Planificación y evaluación de proyectos” de la escuela de negocios EALDE BUSINESS SCHOOL, Madrid, España. Define que “Mediante el Diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Ya que, por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos.

La minoría vital aparece a la izquierda de la gráfica y la mayoría útil a la derecha. Hay veces que es necesario combinar elementos de la mayoría útil en una sola clasificación denominada otros, la cual siempre deberá ser colocada en el extremo derecho. La escala vertical es para el costo en unidades monetarias, frecuencia o porcentaje.

La gráfica es muy útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos”.

6.2.10. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como espina de pescado, es una herramienta diagnóstica, a través de la aplicación de esta técnica se pueden identificar las posibles causas de un evento. La estructura del diagrama se conforma por un efecto o problema a controlar junto con un grupo de causas o factores que potencialmente pueden ser las causantes del problema. Cada causa tiene una rama en el diagrama, de las cuales se desprenden sub causas que contienen factores más a detalle (Bernal & Niño, 2018).

En términos de calidad permite priorizar la implementación de medidas de acción que reduzcan las causas de un determinado problema.

6.2.11. Ciclo de la calidad o ciclo (PHVA)

Castillo Lady (2019) en su trabajo de grado titulado “El modelo Deming (PHVA) como estrategia competitiva para realzar el potencial administrativo” Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C. Define el ciclo de la calidad o ciclo (PHVA) como “El ciclo Deming se conforma de cuatro conceptos planear, ejecutar o hacer, verificar o controlar y actuar que debe establecer la organización o empresa en cada uno de sus procesos comenzando por el más significativo y de ahí en adelante. Este ciclo es un instrumento que se enfoca en la solución de problemas y el mejoramiento continuo, por medio de un diagnóstico inicial, se identifican las fallas para mejorar comparando los planes con los resultados, luego se analiza el resultado no deseado se replantea un nuevo diseño de medidas que anulen el problema y no vuelva a

repetirse y conseguir un resultado aceptable. Lo cual permite crecer sistemáticamente basándose en la mejora continua y la innovación”.

6.2.12. Mantenimiento

- **Mantenimiento preventivo:** es el conocimiento sistemático de la máquina y equipo para la planeación y programación de las actividades que eliminarán las averías que provocan paros imprevistos. Con este tipo de mantenimiento se busca minimizar las probabilidades de fallas y paros totales. Este tipo de mantenimiento se da realizando visitas, revisiones, lubricación y limpieza de los componentes o de la máquina total (Jerez, 2005).
- **Mantenimiento correctivo:** reside en la reparación del equipo una vez haya ocurrido la falla, generalmente sucede cuando no hay previa designación de actividades de mantenimiento para vaticinar dichas pérdidas.

6.2.13. Polietileno de alta densidad

El polietileno como el que se muestra en la figura 7, polietileno de alta densidad, se produce a partir del etileno derivado del petróleo o gas natural. El etileno se somete en un reactor a un proceso de polimerización. Este se realiza en presencia de un catalizador, en condiciones de presión y temperatura que posibilitan la formación de polímeros, que en el producto final tienen la forma de gránulos, denominados pelets. Dependiendo de las condiciones del proceso de fabricación existen variedades de polietileno. Las más conocidas son: el polietileno de alta densidad PEAD y el polietileno de baja densidad PEBD; de este último se producen dos tipos: el PEBD convencional y el PELBD lineal (Faber, 2009).



Figura 7. Polietileno de alta densidad

6.3. Marco legal

- A nivel internacional

ISO 9001 se aplica a los Sistemas de Gestión de Calidad de organizaciones públicas y privadas, independientemente de su tamaño o actividad empresarial. Se trata de un método de trabajo excelente para la mejora de la calidad de los productos y servicios, así como de la satisfacción del cliente (ISO TOOLS, s.f.).

ISO 45001 especifica todos los requisitos para asegurar la salud y seguridad en el trabajo, ofrece orientación para la implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y permite a las organizaciones ser proactivas, incrementar su rendimiento en cuanto a prevención de lesiones, etc (Nueva ISO 45001, s.f.).

- A nivel nacional

GTC 45 proporciona directrices para identificar los peligros y valorar los riesgos en seguridad y salud ocupacional.

Decreto 1072 regula el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SST).

7. Diseño metodológico

7.1. Tipo de investigación

La investigación de campo es aquella en la que mediante un análisis sistemático se busca dar solución a problemas de la realidad con el fin de encontrar y entender los motivos que los provocan. Este tipo de investigación permite al investigador involucrarse de manera directa en el lugar en el que ocurren los problemas y relacionar sus causas y efectos. El resultado de este tipo de práctica también puede resultar en la predicción de ocurrencias de fallas o fenómenos y sus posibles soluciones (Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales, 2010).

Según los objetivos propuestos, el autor Arias Fidiás (2006), en su libro “El proyecto de investigación, Introducción a la metodología científica”. Define la investigación descriptiva como “la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de conocimientos se requiere”.

Además, clasifica la investigación descriptiva según estudios de medición de variables independientes o estudios de investigación correlacional. Así pues, según expone en su libro, el presente estudio se clasifica en el segundo grupo dada su explicación “En los estudios de investigación correlacional, la finalidad es determinar el grado de relación o asociación (no causal) existente entre dos o más variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación. Aunque la investigación correlacional no establece de forma directa relaciones causales, puede aportar indicios sobre las posibles causas de un fenómeno”.

Según el periodo de tiempo, los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos durante un periodo de tiempo específico dado y tienen como propósito,

describir las variables y analizar las incidencias e interrelación de las mismas en un momento. Los diseños transeccionales descriptivos tienen como principal objetivo, indagar la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población. El procedimiento de este método consiste básicamente en ubicar en una o diferentes variables un grupo de personas, seres vivos, objetos, situaciones, contextos, fenómenos, comunidades, etc., y proporcionar la descripción de estos, según lo explica Hernandez, Fernandez & Baptista, 2014.

7.1.1. Instrumentos para la recolección de información

La recolección de los datos se fundamenta en la medición, observación, comunicaciones verbales con el personal operativo y administrativo de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S. Además, se recolectó y revisó la documentación (bitácoras) proporcionada por la empresa.

7.1.2. Recolección de información primaria

Las fuentes de información primarias fueron tomadas de bases de datos tales como, trabajos de grado, artículos científicos de revistas indexadas nacionales e internacionales, libros de ingeniería y mantenimiento. A partir de estas fuentes se tomaron definiciones y se reforzaron los resultados obtenidos en el trabajo de grado.

7.1.3. Recolección de información secundaria

Esta información fue recolectada de las diferentes experiencias anteriormente realizadas por autores de trabajos de grado y artículos de investigación en el estudio de procesos extrusión y diseños de máquinas extrusoras.

7.2. Metodología

- En la primera etapa se evaluó la correspondencia entre los objetivos que tienen la empresa a nivel de ventas y la fase de producción en el área de extrusión.

- En la segunda etapa se hizo un análisis al proceso de extrusión, para identificar las posibles causas y raíces del desperdicio de polietileno de alta densidad.
- En la tercera etapa se formuló estrategias que conlleven a una mejora factible materia de extrusión de película de polietileno, protocolos de seguridad industrial y mantenimiento.
- En la cuarta etapa, se realizó una evaluación de la efectividad de la aplicación de estrategias con respecto a los parámetros evaluados en la segunda etapa.
- En la quinta y última etapa consistió en la socialización de los resultados obtenidos durante el proceso de investigación con el personal del área de extrusión, mantenimiento y con el director del trabajo de grado.

8. Cronograma de actividades

En la tabla 1, se presenta el cronograma de actividades en la ejecución del trabajo de grado; en el que se detallan las diferentes actividades a cumplir.

Tabla 1. Cronograma de actividades del trabajo de grado

ACTIVIDAD	MES I	MES II	MES III
Evaluar la correspondencia ventas – fase de producción			
Análisis al proceso de extrusión			
Formulación de estrategias			
Evaluación de la efectividad de aplicación de estrategias			
Socialización de resultados			

9. Resultados

9.1. Identificación del proceso y cuantificación del desperdicio

9.1.1. Análisis y descripción del proceso global de la empresa

El proceso de extrusión se lleva a cabo para la obtención del monofilamento de película soplada que posteriormente se destina para el proceso sellado y corte. En la empresa, la obtención de un monofilamento ideal es imprescindible, ya que de este dependen casi la totalidad de factores de calidad y propiedades en la fabricación de la bolsa plástica. En base a los reportes de seguimiento que se han dado por la parte administrativa en el área de extrusión, revelan que la pérdida en el área de extrusión es mucho mayor en comparación con otras áreas del proceso de producción, influyendo en los objetivos de programación como lo es la minimización de utilización de las máquinas y mano de obra. El proceso global que lleva la empresa para la elaboración de bolsas plásticas de distintas capacidades es el siguiente:

A. Programación

Dado a que la producción de la empresa se da con base a la solicitud de pedidos por parte los clientes, una vez se conoce la cantidad de producto solicitado, el área administrativa plantea planes de ejecución a corto plazo para realizar distintas tareas como; número de trabajadores que se asignan a una máquina, turnos en los que se va a laborar y designación de la cantidad de material a emplear. Dicha área también plantea objetivos de cumplimiento para llevar un control de las variables que pueden influir en la producción, tales como:

- Tiempos de entrega.
- Costos.
- Inventarios.
- Tiempo de trabajo de las distintas máquinas.
- Tiempo en mano de obra por solicitud de pedido.

B. Almacenamiento

La obtención de la materia prima se da a través de entidades externas, una vez se solicita la cantidad de materia, se verifica que el proveedor haya cumplido con la cantidad acordada, se revisa que los bultos estén en buenas condiciones y que el peso en kilogramos de cada uno sea el correspondiente. Posteriormente son almacenados en una parte del galpón donde aún puede haber materia prima de compras anteriores, en este lugar los bultos pueden estar divididos según el proveedor de material.

En otra parte del galpón se almacenan los productos terminados divididos en la referencia, según su capacidad 2, 3, 5, 10, 15, 20 y 25 kg como se observa en la figura 8. Se comprueba que el producto entregado en millares por el área de producción corresponda con la cantidad solicitada por el área administrativa.

El producto terminado se encuentra a temperatura ambiente, protegido por de la lluvia de los rayos solares directos.



Figura 8. Almacenamiento de productos

C. Mezclado

Se realiza a través de una mezcladora en donde las cantidades de materia prima varían según la capacidad de la bolsa que se vaya a fabricar. El material que se agrega para mezcla

está constituido por polietileno de alta densidad (PEAD), pigmento cuyas tonalidades disponibles son rojo, azul, verde o blanco, por último, polietileno lineal de baja densidad (PELBD) que aporta elasticidad a la bolsa plástica. A la mezcla también suele agregarse material reciclado resultado de pérdidas en las diferentes áreas de producción y compra de desperdicio a terceros, que son bolsas recicladas de diferentes partes de la ciudad, las cuales ya han tenido algún uso. La cantidad de estos en la mezcla también dependen del tipo de bolsa que se vaya a fabricar. Se agregan como forma de reutilización de materia prima.

La finalidad del proceso de mezclado es asegurar que la mezcla sea homogénea para asegurar un buen resultado a la hora de llevar el material a la extrusora (ver figura 9).



Figura 9. Mezcladora

D. Extrusión

Según el tipo de bolsa a fabricar solicitada por el área administrativa, se establecen los parámetros de operación que controlan el proceso a través de un tablero de control que se muestra en las figuras 10 y 11, además de operaciones manuales.

A continuación, se presentan los parámetros manipulados a través del tablero de control:

- Temperatura de las diferentes zonas del tornillo sin fin: cada zona consta de un pirómetro, un mini breaker, un contactor y una resistencia. En cada zona se encuentra una termocupla, que censa, manda la señal al pirómetro y este último comanda al contactor que pasa al circuito de fuerza la corriente para que la resistencia caliente. El circuito es el mismo para cada zona del tornillo sin fin y se repite 5 veces.



Figura 10. Tablero de control caja abierta



Figura 11. Tablero de control caja cerrada

- Variador de frecuencia del motor principal: controla la velocidad del tornillo sin fin.

- Variador de frecuencia del motor jalador: controla la velocidad de los rodillos de la parte superior que se encargan de jalar la película de polietileno una vez esta se encuentra inflada por la burbuja de aire.
- Variador de frecuencia del motor embobinador: controla la velocidad de los rodillos de la parte inferior encargados de crear los rollos de película de polietileno. En la figura 12 se presenta el rodillo jalador de 2hp.



Figura 12. Torre rodillo jalador

- Burbuja de aire: la masa es empujada hacia el cabezal hasta que adopta forma de anillo, la resina se distribuye de manera homogénea, luego la película es soplada por el sistema de aire comprimido también llamado soplador, el operario controla el flujo de aire de manera manual hasta formar la burbuja que es enfriada a lo largo de su trayectoria por el propio sistema, finalmente la película es aplastada por los rodillos jaladores formándose el film o película de polietileno.

E. Sellado y corte

Una vez se termina de embobinar todo el material que sale de la línea de extrusión, el operario de manera manual traslada la bobina a la zona de corte y sellado. En la empresa existen dos máquinas para realizar este trabajo, cada una con una forma diferente de operación. La primera es una selladora rápida de corte caliente que se observa en la figura 13, en la cual la cuchilla está calentada por un transformador y tanto el corte como el sellado de la bolsa se dan de una manera simultánea. La segunda es una selladora de corte frío que se observa en la figura 14, en la que la precisión del corte depende del filo de la cuchilla y el sellado está en función de un bloque con un número de resistencias, la operación se da en secuencia, primero el sellado y después el corte. Ambas máquinas utilizan un sistema de control en donde se establecen los parámetros según los requerimientos del tipo de producto a fabricar, el material se alimenta automáticamente pasando a través de varios rodillos.



Figura 13. Selladora rápida de corte caliente



Figura 14. Selladora de corte frío

F. Aglutinador de material

La forma de recuperar el material perdido y el que se obtiene por compra a recicladores, es mediante una aglutinadora de material que se presenta en la figura 15, esta funde el material hasta dejarlo apto para ser llevado a la mezcladora para ser usado junto con los tres componentes del material original.



Figura 15. Aglutinadora

G. Embalaje

El embalaje indiferentemente de la capacidad de la bolsa se da rollos de 90 o 100 unidades como se muestra en la figura 16, esto depende del tipo de millar que se esté manejando en el proceso de producción, las medidas tanto de ancho, como de largo de la bolsa. En la figura 17 se presentan los tipos de medidas que se trabajan para las diferentes bolsas dependiendo de la capacidad, donde el peso está en gramos (g) y tanto el ancho, como el largo y el fuelle en centímetros (cm).



Figura 16. Embalaje de bolsa plástica

EXTRUSIÓN			
Peso	Ancho	largo	Tuella
2K = 1.3	17	35	5+5
3K = 1.8	20	37	6+6
5K = 2.5	23	41	6.5+6.5
10K = 3.3	26	48	7.5+7.5
15K = 4.1	28	55	8+8
20K = 5.5	30	57	9+9
25K = 8.8	3	64	9+9

1K = 34+10+10 = 68cm peso EXI = 134g 2.9

Figura 17. Medidas de bolsa plásticas en base a su capacidad

H. Despacho

El personal administrativo se encarga de hacer la entrega del pedido solicitado, este se puede ser recogido en la puerta del galpón por el mismo cliente o enviado a través de un taxi asociado a la empresa. El medio de pago del producto es contra entrega.

La secuencia de los subprocesos mencionados anteriormente se presenta en el siguiente organigrama (ver figura 18).

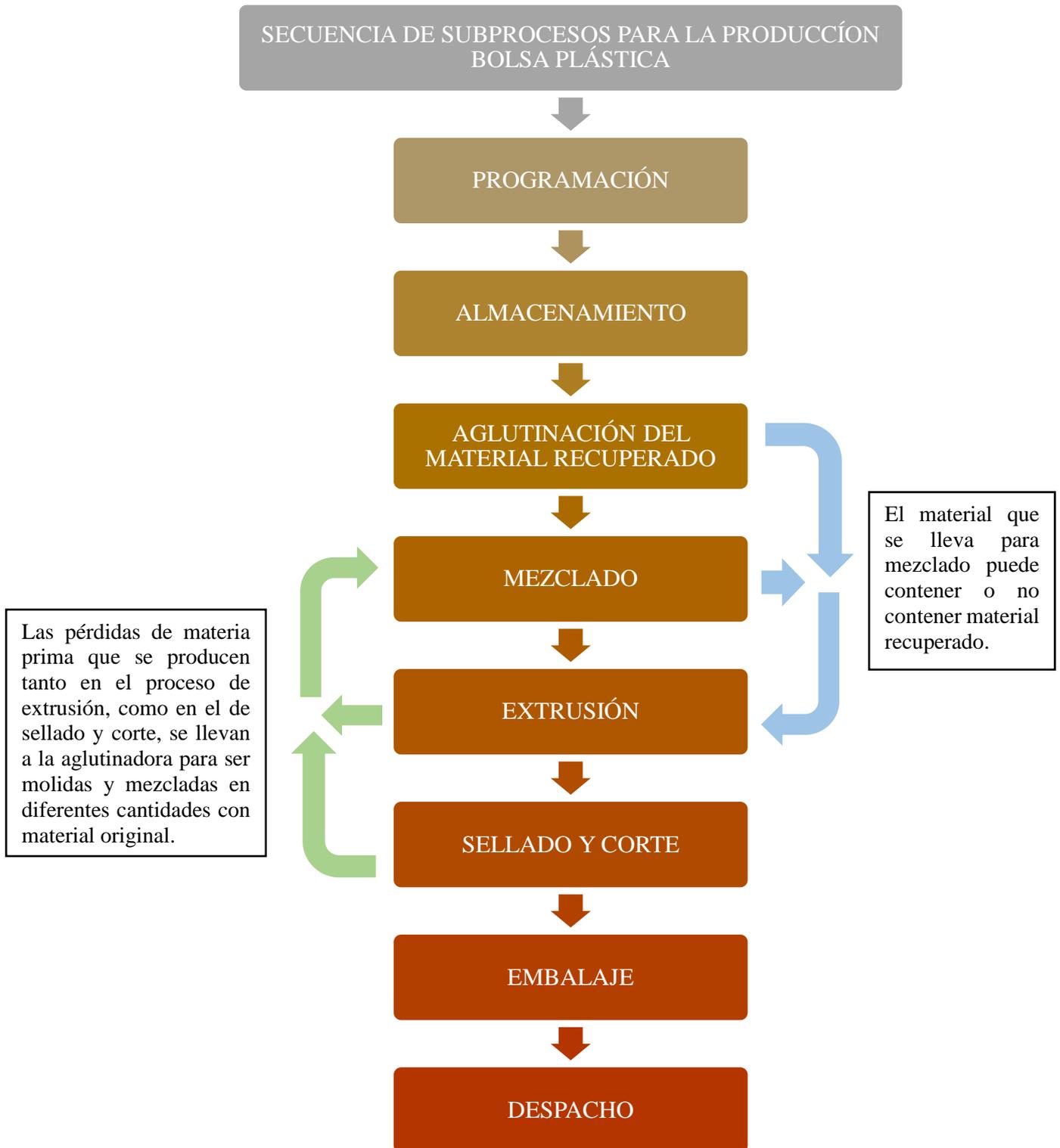


Figura 18. Proceso global de la empresa para la producción de bolsa plástica

9.1.2. Clasificación del desperdicio

Para clasificar y cuantificar el desperdicio, este se divide y se pesa en base al proceso de producción en el cual se generó y se subdivide según el componente que lo produce.

8.1.2.1.Extrusora

Por medio de las visitas a la empresa en donde se desarrolló el trabajo de grado, se presenciaron cuatro cortes de energía eléctrica, que generaron paradas en la producción que fueron desde horas, hasta días. También se presenciaron dos de las cuatro reconexiones energía eléctrica y a través de inspección visual se comprobó cómo la planta en general iniciaba la producción. Prestando atención al área de extrusión, fue imposible pasar de inadvertido cómo los extrusores presentes batallaban con el material hasta dar con un punto en el que no se presentaran revientes de película. A través de charlas, estos corroboraron que tanta pérdida de material era una falencia presente siempre que encendían las máquinas y que constantemente debían inspeccionar las mallas para que cualquier pedazo de mugre no llegara a afectar el film produciendo todavía más pérdidas. Todos los residuos son pesados por el operario.

8.1.2.2.Sellado y corte

En el área de sellado las pérdidas se generaron cuando la bobina de bolsa plástica que viene del área de extrusión tenía un calibre muy bajo, razón por la cual a las pinzas les es muy difícil agarrar a la bolsa para sellarla. En charlas con el jefe de mantenimiento comentó que también se presentan fallas por desgaste natural de elementos mecánicos que no son cambiados en su debido momento. En la figura 19 se muestra un residuo del área de sellado por un calibre demasiado bajo. Todos los residuos de esta actividad son pesados por el operario.



Figura 19. Residuo del área de sellado y corte

8.1.3. Cuantificación del desperdicio

Los datos que hicieron posible la recolección de información del desperdicio en las diferentes etapas del proceso de producción se dieron dado al control llevado por los operarios en cada área, quienes al terminar su turno pesan el desperdicio y anotan la cantidad en kilogramos en un cuaderno para llevar un registro diario y con la suma de estos, calcular la cantidad de desperdicio mensual.

El personal que opera las máquinas extrusoras maneja un horario laboral de 12 horas, el horario es rotativo y el personal está constituido por 2 operarios o maquinistas y 2 ayudantes que trabajan en las diferentes áreas de producción dependiendo de la necesidad que se presente. A continuación, se muestra en la tabla 2 los horarios que maneja la totalidad del personal de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

Tabla 2. Turnos laborales

TURNO DÍA	TURNO NOCHE
Entrada: 6:00 am	Entrada: 6:00 pm
Desayuno: 7:00 – 7:30 am	Comida: 8:00 – 8: 30 pm
Almuerzo: 12:00 – 12:30 pm	Salida: 6:00 am
Salida: 6:00 pm	

A continuación, se presentan los datos (ver tabla 3) que son la base para empezar a comprender el desperdicio, datan de los datos aportados por el área administrativa que a la fecha ha llevado un control sobre los diferentes tipos de pérdidas que se presentan en la empresa con la finalidad de buscar una ruta para disminuirlos mediante planes a corto y mediano plazo.

Tabla 3. Control de desperdicios desde marzo a junio del 2021

Meses (año 2021)	Cantidad de desperdicio (kg)	
	Extrusión	Sellado y corte
Marzo	3484	556
Abril	3476	866
Mayo	3255	896
Junio	3969	754

Fuente: Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

9.2. Análisis de las causas del desperdicio

9.2.1. Análisis de las causas

Para recoger la información necesaria, se hicieron varias visitas a la empresa, el área administrativa comprometida con el estudio, daba previo aviso, sobre todo cuando las máquinas se prendían para corroborar la actividad realizada por los operarios durante buena parte de su jornada laboral. Durante la estancia se presenciaron varios revientes de película e inconvenientes con el punto de mezcla, también cuatro cortes de luz, problemas atribuidos a la baja capacidad económica dado a que la empresa no lleva mucho tiempo de haberse establecido y a la misma gerencia.

Se presenció todo el proceso de operación en varias ocasiones, también las condiciones en las que trabajan los operarios, algunos de estos son extrusores con una amplia experiencia, así que la información brindada por ellos representa para el desarrollo del trabajo de grado una fuente confiable en la toma de decisiones. Se corroboró la precisión en la cuantificación del desperdicio, el peso del mismo y la correcta anotación en el cuaderno de registro.

Cada vez que se presentó un reviente, pérdida de material al encender la máquina, fallas en la máquina extrusora y demás retrasos de producción, se investigó sobre sus posibles causas con los operarios, el jefe de mantenimiento y ayudantes a través de una lluvia de ideas. También se consultaron fuentes confiables de información como revistas indexadas y trabajos de grado relacionados con el tema de estudio, se tomaron notas de las entrevistas realizadas al personal operativo de la empresa y mediante el material brindado (bitácoras) por el área administrativa, se pudieron determinar las frecuencias de falla.

9.2.2. Análisis causa raíz

8.2.2.1. Diagrama de enumeración de las causas

Mediante un diagrama de Ishikawa se consideran todas las causas de un problema. Para el desarrollo de este se coloca el efecto en el extremo del diagrama y de ahí se trazó una flecha en la cual se desmiembran posibles causas en cierta categoría hasta la rama principal que representa el problema principal del proceso a estudiar.

Se aplicó el diagrama al proceso de extrusión con los datos recopilados por parte de los operarios y los aportados por el área administrativa. Se presenta el diagrama de Ishikawa aplicado al proceso de extrusión, figura 20.

8.2.2.2. Análisis del proceso.

En el diagrama que se presenta en la tabla 4, busca analizar las causas estudiando cada paso empleado en subproceso de producción.

Figura 20. Diagrama de Ishikawa aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

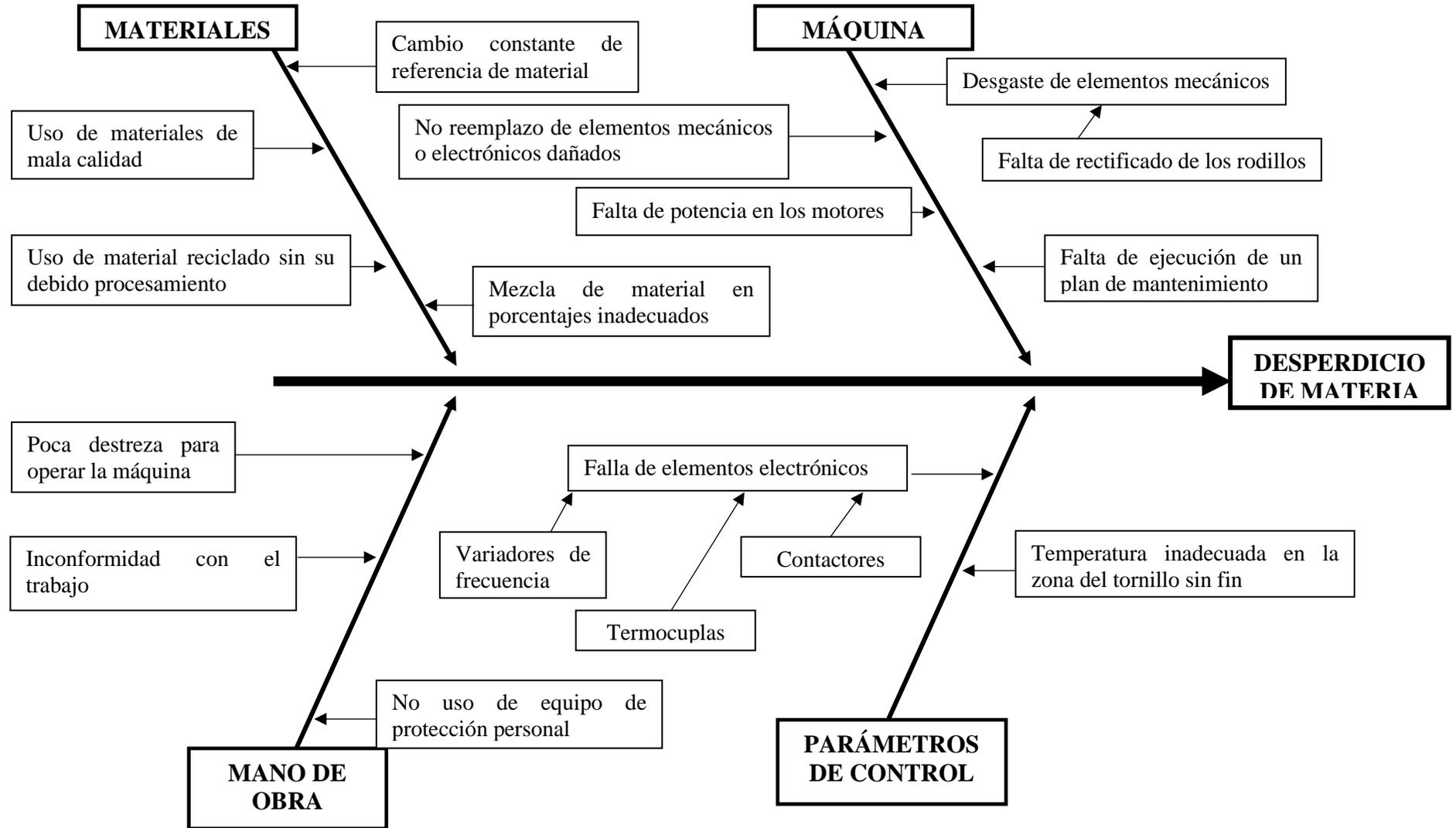


Tabla 4. Análisis de proceso aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

PARÁMETRO	PROCESO	POSIBLE CAUSA DE FALLA
Preparación de la máquina	Calentamiento de la máquina	Potencia del motor deficiente
	Ajuste de parámetros en el tablero de control dependiendo del tipo de bolsa a fabricar	Mal funcionamiento del túnel de calefacción
	Revisar el correcto estado de los elementos mecánicos	
Preparación de la materia prima	Mezclar el polietileno de alta densidad con el pigmento y el polietileno lineal de baja densidad Verificar que la mezcla esté libre de impurezas	Mezclador en mal estado
Ajuste del tornillo	Ajuste de la velocidad del tornillo	
Preparación del film para estirarse	Verificar que la mezcla esté en su punto, no deben aparecer imperfecciones como burbujas, ojos de pescado o textura gomosa	Desperdicio de material hasta encontrar el punto en el que la mezcla tenga la textura necesaria
Organizar el film para ser inflado y estirado	Acomodar el film en los trenes de rodillos	Mal funcionamiento del túnel de calefacción Rodillos con superficies no uniformes que producen mal embobinado

Con base en las comunicaciones entabladas con los operarios, jefe de mantenimiento y el personal administrativo de la empresa, se determinó la cantidad de fallas y la frecuencia de aparición de las mismas durante los meses de marzo a junio del 2021. Teniendo en cuenta los datos recolectados se realizó un análisis de Pareto el cual se encuentra en la tabla 5. Según la figura 21, los principales problemas que están generando pérdidas, en el área de extrusión son el uso excesivo de material reciclado en la mezcla, la falta de rectificado de los rodillos y el cambio constante de referencia de material.

Tabla 5. Análisis de Pareto aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

SÍMBOLO DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA CAUSA	FRECUENCIA DE LA CAUSA	FRECUENCIA ACUMULADA	PORCENTAJE DE FRECUENCIA	PORCENTAJE ACUMULATIVO
A	Uso excesivo de material reciclado en la mezcla	34	34	40,00	40,00
B	Falta de rectificado en los trenes de rodillos	16	50	18,82	58,82
C	Cambio constante de referencia de materia prima	12	62	14,12	72,94
D	Incomformidad con el trabajo	6	68	7,06	80,00
E	Corte de energía por falta de pago	4	72	4,71	84,71
F	Falta de un plan de mantenimiento preventivo	3	75	3,53	88,24
G	Mal manejo de los parámetros de control	2	77	2,35	90,59
H	Falta de cambio de rodamientos	2	79	2,35	92,94
I	Mal estado de las termocuplas	1	80	1,18	94,11
J	Mal estado del tornillo sin fin	1	81	1,18	95,29
K	Desgaste de bandas de transmisión	1	82	1,18	96,47
L	Falta de lubricación de engranajes en la caja reductora de velocidad	1	83	1,18	97,65
M	Pérdida de fuerza en los motores	1	84	1,18	98,83
N	Mezclador en mal estado	1	85	1,18	100%
	TOTAL	85		100%	

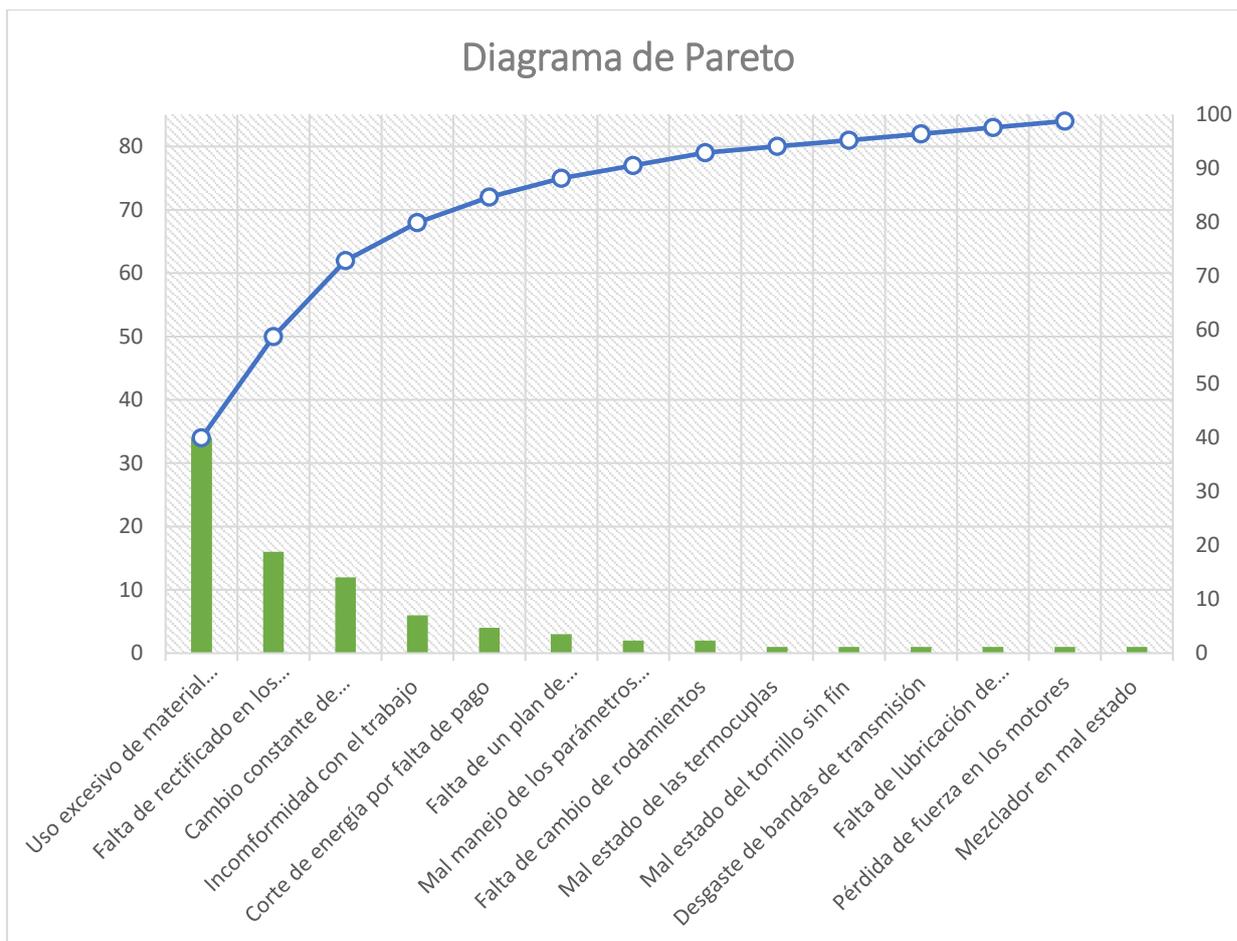


Figura 21. Diagrama de Pareto aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

9.2.3. Ciclo de la calidad (PHVA)

Una vez identificadas y cuantificadas las causas, se procede a hacer un análisis de los problemas que más influyen en el desperdicio aplicando el ciclo de la calidad (PHVA) o ciclo de Deming. Esta metodología se desarrolla en 4 pasos: planear, hacer verificar, y actuar. En el primer paso se plantean preguntas que lleven darnos ideas precisas sobre la causa a estudiar. En la segunda etapa con base a las respuestas obtenidas, se plantea un plan de acción en el cual se estudian costos y se plantean opciones en relación costo/beneficio. En el tercer paso se escoge la opción que represente más beneficios para la empresa. En el último paso se evalúa el rendimiento de aplicar dicha opción al problema de estudio.

8.2.3.1. Uso excesivo de material reciclado

- ¿Qué ha generado el problema?

Para abordar la problemática que se presenta en la empresa primero, se debió abordar más tema sobre el material base: cómo está constituido, su clasificación y propiedades. Posteriormente sobre la clasificación del polietileno reciclado (PEADr y PEBLDr), proceso de recuperado, tipos de degradación y cómo este puede afectar la mezcla.

Las moléculas de polietileno como se muestra en la figura 22, se constituyen por unidades de la misma forma, a las cuales se les llama meros o unidades repetitivas.

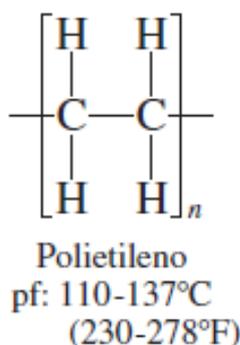


Figura 22. Molécula de polietileno

Fuente: Smith, William; Hashemi Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. Cuarta edición. Página 478.

El polietileno está clasificado como un material termoplástico, así que por acción del calor se ablanda de forma reversible y se solidifica de nuevo al enfriarse dado a que las moléculas están arregladas de forma lineal y están unidas a través de enlaces de Van der Waals.

Al comprimir el etileno en estado puro a condiciones de temperatura y presión que permitan su fundición, las disposiciones de cadenas se forman de manera aleatoria, esto quiere decir que se produce un polímero ramificado, el producto del proceso es llamado polietileno de baja densidad (PEBD).

Cuando al mismo proceso se le añaden catalizadores, el producto obtenido es polietileno de alta densidad (PEAD). Durante el proceso de polimerización disminuye la cantidad de ramificaciones y se producen cadenas más largas, las cuales otorgan propiedades al PEAD como mayor grado de cristalinidad, resistencia y rigidez en comparación al PEBD. En la figura 23, se muestra la estructura de cadena de diferentes tipos de polietileno siendo a) de alta densidad, b) de baja densidad y c) lineal de baja densidad.

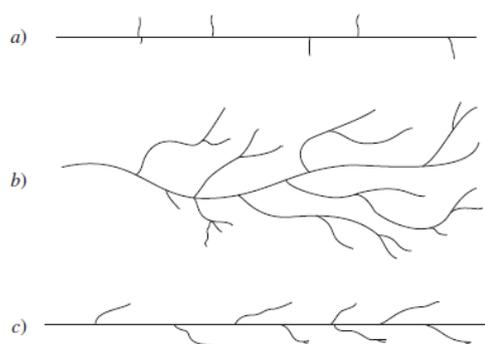


Figura 23. Estructura de cadena de diferentes tipos de polietileno

Fuente: Smith, William; Hashemi Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. Cuarta edición. Página 501.

Al encontrarse a una temperatura mayor a la temperatura de transición vítrea, el polímero cristalino gana flexibilidad. Cuando su temperatura es superior a la de fusión, las cristalitas se funden y las moléculas individuales pueden deslizarse unas sobre otras. En la figura 24, se muestran algunas propiedades de los polietilenos de alta y baja densidad.

Propiedad	Polietileno de baja densidad	Polietileno lineal de baja densidad	Polietileno de alta densidad
Densidad (g/cm^3)	0.92-0.93	0.922-0.926	0.95-0.96
Resistencia a la tensión, ($\times 1\,000$ psi)	0.9-2.5	1.8-2.9	2.9-5.4
Elongación (%)	550-600	600-800	20-120
Cristalinidad (%)	65	...	95

Figura 24. Algunas propiedades de los polietilenos de alta y baja densidad

Fuente: Smith, William; Hashemi Javad. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. Cuarta edición. Página 502.

El uso de material reciclado en la mezcla es un proceso frecuente en las empresas que fabrican productos plásticos, ya que es una manera de suplir la falta de recursos, de esta manera se ahorra energía y disminuye el uso de material original por unidad producida, obteniendo de así un beneficio. El material que se puede recuperar para manufacturar de nuevo se puede dividir en las siguientes categorías:

- **Primario:** Procesamiento de un producto para la obtención de uno equivalente.
- **Secundario:** Procesamiento de un producto para la obtención de un producto que puede ser o no el de su uso original.
- **Terciario:** El polímero se convierte de nuevo en su hidrocarburo para utilizarlo como materia prima en la producción de polímeros.
- **Cuaternario:** Recuperación de energía, los materiales se incineran para recuperar su energía inherente.

En la industria plástica es común reprocesar los residuos que se obtienen del propio proceso de producción. Este tipo de reciclaje es llamado reciclaje primario, el proceso consta de triturar el material hasta que alcance un tamaño en el cual pueda ser reprocesados.

Por otra parte, el uso de material recuperado proveniente de terceros, necesita mayor tratamiento para que sea apto para reprocesarse, este tipo de reciclaje se conoce como secundario. El material se compra en formas variadas y necesita por lo general ser reducido en tamaño, limpiado, separado y granulado.

La empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S. hace uso de material recuperado de categoría primaria y secundaria. El material de categoría primaria para ser añadido a la aglutinadora se echa tal y como sale del proceso de extrusión fallido, cabe recalcar que este material está limpio, pues suele echarse en costales hasta que se vaya a reprocesar.

El material de categoría secundaria se compra por kilogramos, pero a diferencia del primario, para ser añadido a la aglutinadora primero pasa por un proceso de limpieza a mano, pues el material puede tener cinta o tinta añadida, pequeños residuos sólidos sueltos o adheridos, posteriormente se separa para ser añadido a la aglutinadora. Uno de los problemas que se tienen al usar material reciclado en la empresa, es que no se trata de la forma correcta para usarse, pues generalmente cuando el material reciclado sale de la aglutinadora y se añade a la mezcla, este tiene diferente viscosidad y color, así que es importante el procesamiento para que se pueda obtener homogeneidad y calidad en el material. La mezcla de fracciones de plástico reduce en gran medida la calidad del producto, esto se debe a que hay diferencias en las temperaturas de fusión y procesamiento. Además, se debe tener en cuenta que el material no debe estar contaminado por su anterior uso.

El proceso para el reciclaje de plástico se puede dividir en dos pasos.

1. Tratamiento físico/mecánico para preparar y homogeneizar los residuos.
2. Proceso de fundido.

Las etapas del proceso de reciclaje se muestran en la figura 25 presentada a continuación.

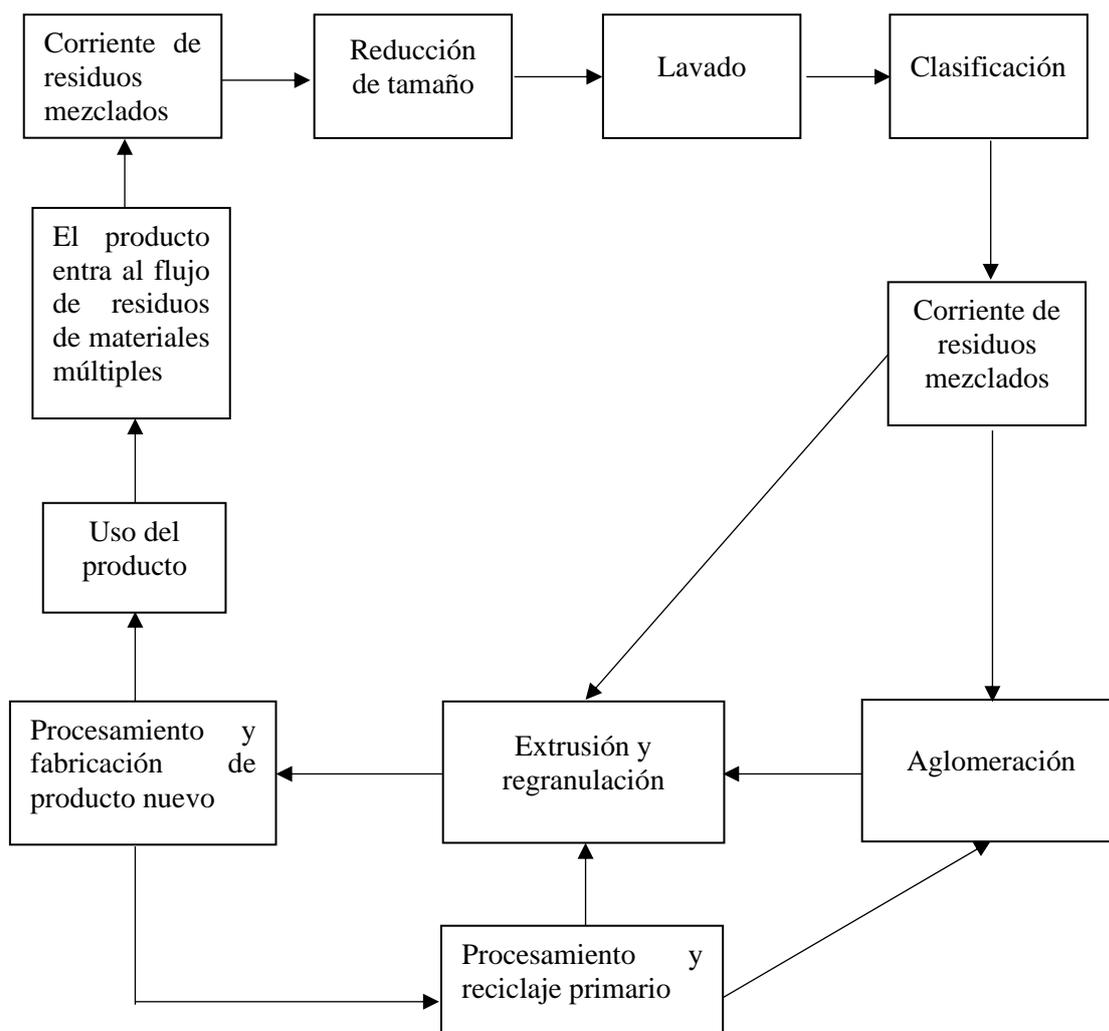


Figura 25. Diagrama de flujo para el procesamiento de material plástico reciclado

Fuente: Adaptado de Goodship, Vanessa. Introduction to plastic recycling. Segunda edición. Página 54.

También se debe considerar que no se conocen las circunstancias en las que se almacena el material reciclado antes de su compra, así que se debe conocer cómo puede degradarse el material a razón de las condiciones a las que este es sometido durante su uso y almacenamiento.

La degradación de un polímero se da o inicia con la formación de un radical libre, normalmente, si no se dan las condiciones de almacenamiento necesarias, ese aporte de energía se puede dar por agentes como el sol (radiación UV) o lugares que presenten

elevada temperatura. A continuación, se mencionan los tipos de degradación de un polímero.

- Degradación por temperatura: Se conoce como Termo Oxidación, la consecuencia de esta es la ruptura y separación de enlace de cadenas de polímeros.
- Foto degradación: Se produce durante el uso del plástico o en el mismo proceso de extrusión, ya que por su misma naturaleza es degradable. También se da durante el proceso reciclaje, si este no se protege, el material se degrada por acción de los rayos ultravioleta de la radiación solar, el producto de una alta exposición puede ser la fragmentación en partículas diminutas.
- Degradación mecánica: Se produce cuando se presenta un cizalle durante el mismo proceso de extrusión o uso del producto.

Otro factor a considerar es el porcentaje de material reciclado apto para añadir a la mezcla, pues la empresa ha llegado a alcanzar porcentajes de hasta un 75% de material reciclado de categoría secundaria, lo cual ha derivado en un alto consumo de energía y en un difícil manejo del material para alcanzar un punto de mezcla.

En el año 1999 en el artículo realizado por Chaparro Luis, Perilla Jairo y Germán Castro; llamado “Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y de Proceso en Mezclas de Polietileno Virgen y Reciclado” publicado en la revista Ingeniería e Investigación de la Universidad Nacional, se hace un estudio experimental el cual busca documentar cómo se ven alteradas las propiedades físicas y de procesabilidad del polietileno de baja densidad (PEBD) al tratarlo después de estar expuesto al ambiente y añadirlo en diferentes porcentajes a una mezcla con polietileno virgen.

Veintiséis (26) kilogramos de PEBD_r se obtuvieron de los invernaderos de la Universidad Nacional de Colombia y se mezclaron en proporciones de 0, 10, 20, 30, 40,

50, 60, 80 y 100% con polietileno virgen. Las pruebas que se realizaron durante el estudio fueron: calorimetría diferencial de barrido (DSC), densidad, índice de fluidez, esfuerzo hasta la ruptura, elongación hasta ruptura, esfuerzo de flexión y espectrofotometría infrarroja a muestras de película nueva y usada. El material se limpió, cortó y preparó hasta obtener pellets de tamaño menor a 4 cm, se lavó y se secó durante 24 horas.

El material en la prueba de espectrometría infrarrojo mostró tres bandas principales de oxidación adicionales en comparación con el material virgen ubicadas a 1.070 cm^3 que indican la degradación a causa de la exposición con el medio ambiente.

El análisis por DSC arrojó que el calor de fusión decrece a mayor contenido de polietileno reciclado en la mezcla como se observa en la figura 26, además de una influencia en el contenido cristalino de la misma como se muestra en la figura 27.

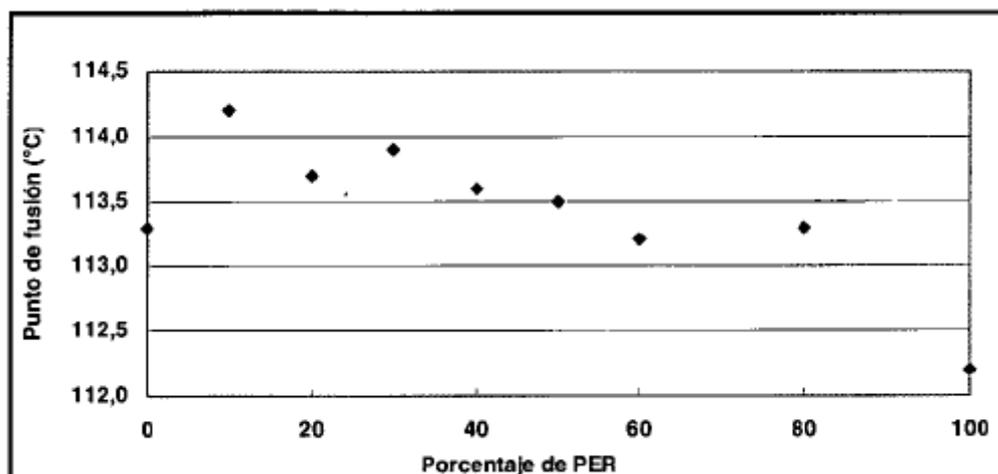


Figura 26. Efecto de la composición en el punto de fusión de las mezclas

Fuente: Chaparro. L; Perilla. J; Huertas. J; Castro G. Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y de Proceso en Mezclas de Polietileno Virgen y Reciclado. Ingeniería e investigación.

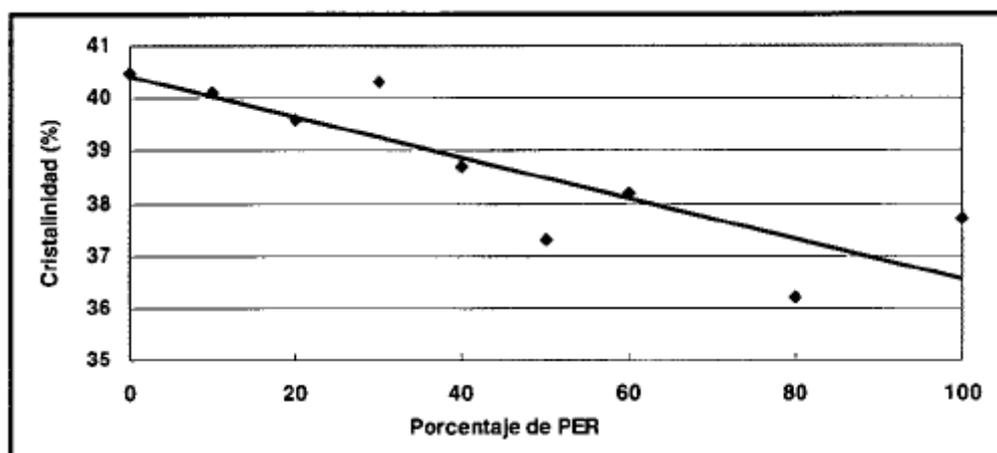


Figura 27. Efecto de la composición en la cristalinidad de las mezclas

Fuente: Chaparro. L; Perilla. J; Huertas. J; Castro G. Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y de Proceso en Mezclas de Polietileno Virgen y Reciclado. Ingeniería e investigación.

La densidad en la mezcla, como se muestra en la figura 28, disminuyó en las que tenían un porcentaje menor a 40% en $0,001 \text{ g/cm}^3$ por cada 10% de incremento de material reciclado, en cambio, en las mezclas con porcentajes comprendidos entre el 40 al 100% la densidad disminuyó $0,005 \text{ g/cm}^3$ por cada 10 % de material reciclado.

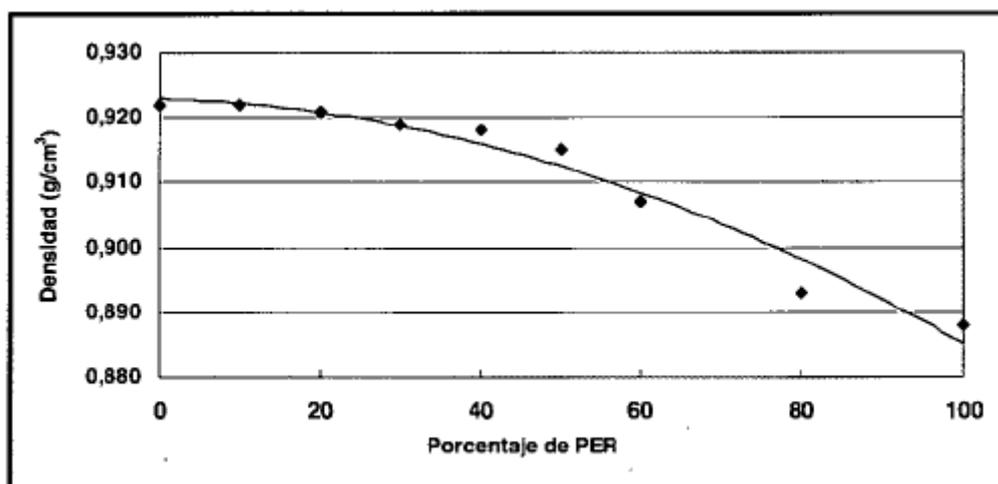


Figura 28. Efecto de la composición en la densidad de las mezclas

Fuente: Chaparro. L; Perilla. J; Huertas. J; Castro G. Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y de Proceso en Mezclas de Polietileno Virgen y Reciclado. Ingeniería e investigación.

El índice de fluidez (MI), como se muestra en la figura 29, también disminuyó al aumentar el contenido de PEBDr, en donde con solo 30% de material reciclado el (MI) ya había disminuido en un 50%. El estudio también arrojó que la viscosidad es mayor

conforme a la mezcla contiene mayor PEBDr, haciendo que se dificulte el deslizamiento entre capas.

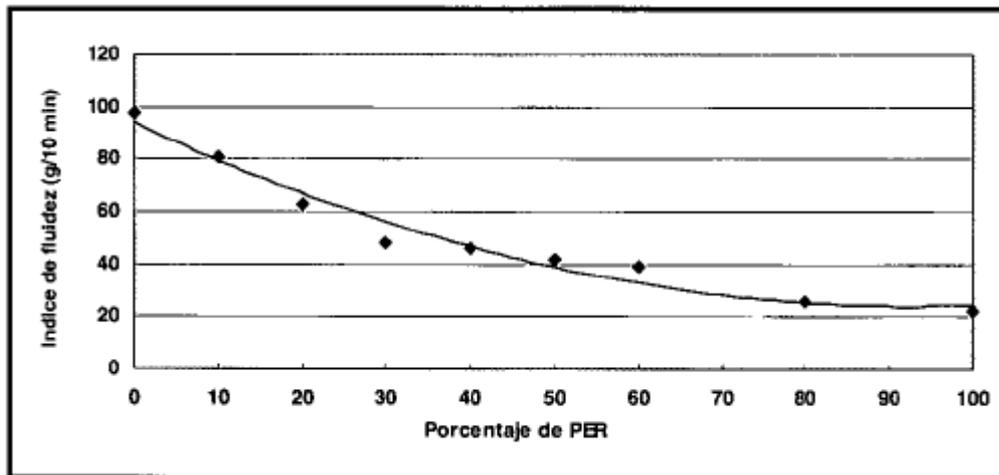


Figura 29. Efecto de la composición sobre el índice de fluidez

Fuente: Chaparro. L; Perilla. J; Huertas. J; Castro G. Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y de Proceso en Mezclas de Polietileno Virgen y Reciclado. Ingeniería e investigación.

Las pruebas de esfuerzo también mostraron que a mayor contenido de PEBDr disminuye la elasticidad, es decir la rigidez es mayor como se presenta en las figuras 30 y 31 en las que muestra el efecto en el módulo de flexión y elongación hasta la ruptura.

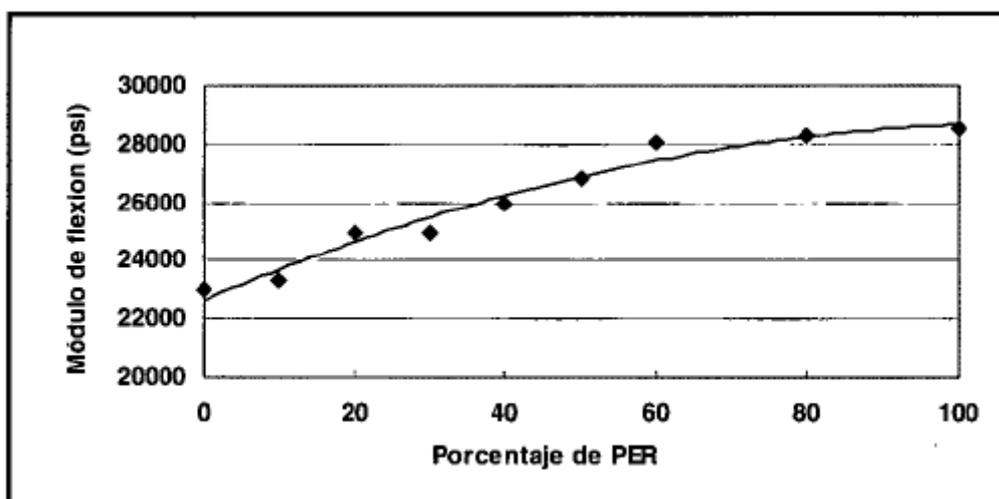


Figura 30. Efecto de la composición sobre el módulo de flexión

Fuente: Chaparro. L; Perilla. J; Huertas. J; Castro G. Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y de Proceso en Mezclas de Polietileno Virgen y Reciclado. Ingeniería e investigación.

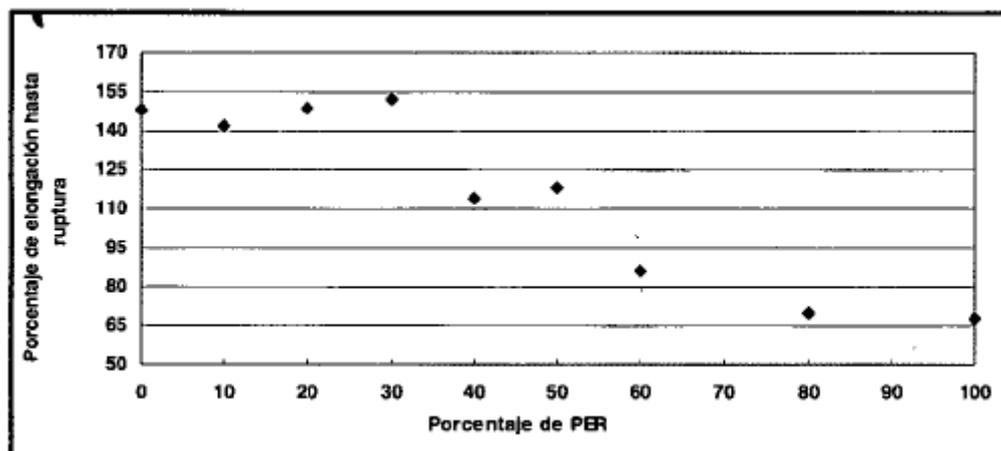


Figura 31. Efecto de la composición en la elongación hasta la ruptura

Fuente: Chaparro. L; Perilla. J; Huertas. J; Castro G. Evaluación de las Propiedades Físicas, Mecánicas y de Proceso en Mezclas de Polietileno Virgen y Reciclado. Ingeniería e investigación.

Al final se concluye que las propiedades del PEBD disminuyen en porciones considerables dada la exposición al medio ambiente. Se sugiere aplicar la misma preparación del material que el estudio para hacer uso del PEADr y se recomienda usar en una proporción máxima de 30% para evitar variaciones drásticas en las propiedades del producto final. Si se desea obtener un producto con altos estándares de calidad se recomienda un uso no mayor a un 10% en la mezcla con polietileno virgen.

En el (2016) Carvajal Ignacio en su trabajo de grado titulado “Caracterización de mezclas de polietileno virgen reciclado”, Universidad de Chile, realiza un estudio el cual consistió en mezclar en diferentes porcentajes polietileno de alta densidad virgen (PEAD) con polietileno de alta densidad reciclado (PEADr) para establecer las relaciones entre la variación de propiedades en un producto final.

Para el desarrollo del trabajo de grado se mezcló polietileno de alta densidad virgen con polietileno de alta densidad reciclado en proporciones de 0, 10, 20, 30, 40, 50, y 100% y se realizaron pruebas de resistencia a la tracción, rasgado y ensayo de melt index o índice de fluidez para obtener propiedades de resistencia a la tracción,

alargamiento a la rotura, módulo de Young, límite de frecuencia, resistencia al rasgado y viscosidad del polímero fundido.

Para la construcción de las probetas se realizaron las mezclas correspondientes de polímeros, después se laminaron en una termocompresora y se troquelaron. En total se crearon 116 probetas.

En el ensayo de tracción se utilizaron 5 probetas por cada tipo de mezcla, es decir 35 en total. A medida que el contenido de PEADr aumentó, el valor de resistencia a la tracción disminuyó siendo la probeta con 100% PEADr la que peor comportamiento mostró (ver figura 32). Las mezclas con contenido comprendido entre el 10 y 50% de PEADr arrojaron un valor promedio de 28 MPa, en cambio el resultado para la muestra de 100% PEADr arrojó un valor de 17,4 MPa. La diferencia se relacionó con la degradación del polietileno, dado a que se presentan cortes en las cadenas de ramificación, lo que hace que sea más difícil el deslizamiento entre capas.

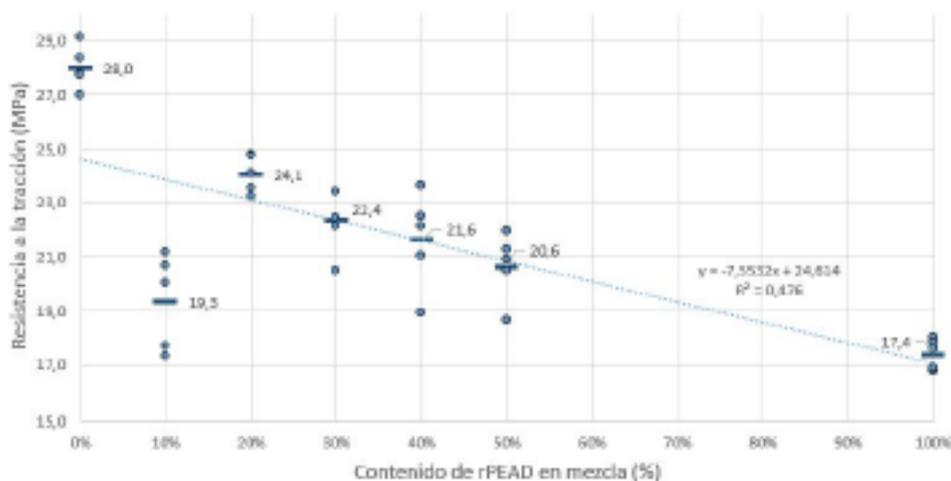


Figura 32. Resistencia máxima a la tracción según el contenido de PEADr

Fuente: Caracterización de mezclas de polietileno virgen con reciclado. Carvajal, Ignacio. 2016.

En el alargamiento a la rotura que se presenta en la figura 33, nuevamente la muestra con mejor comportamiento fue la de 100% PEAD virgen con un valor promedio

de 144% de alargamiento, las demás muestras mostraron una disminución en el alargamiento comprendidos entre 9 y 37% conforme iba en aumento el porcentaje de PEADr. El resultado se atribuyó a que el PEADr tiene un menor peso molecular en comparación con el virgen y a la existencia de una mayor ramificación lo que impide el alargamiento.

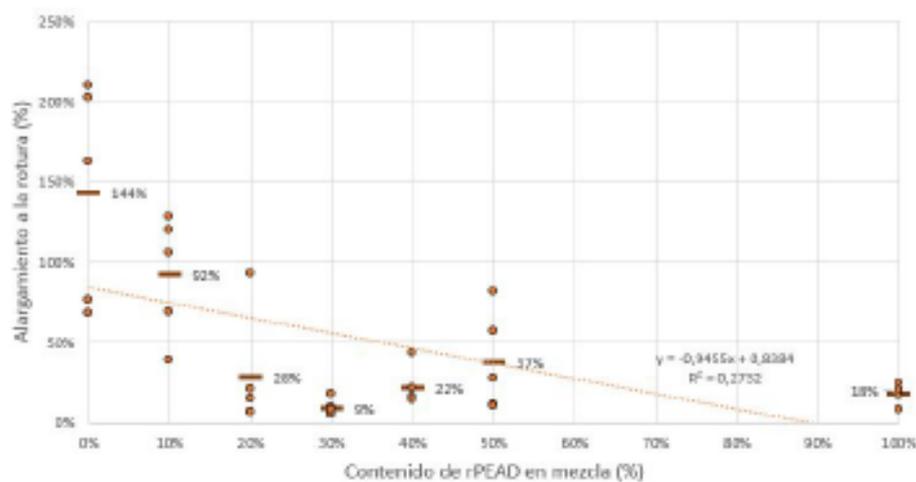


Figura 33. Alargamiento a la rotura según el contenido de PEADr

Fuente: Caracterización de mezclas de polietileno virgen con reciclado. Carvajal, Ignacio. 2016.

El valor del módulo de Young (ver figura 34), tuvo su valor máximo en la muestra hecha completamente de PEAD virgen, esta obtuvo el mayor valor, siendo 916 MPa. A medida que iba incrementando el porcentaje de PEADr las muestras no solo mostraron valores menores, sino también mayor inestabilidad dando valores dispersos en la gráfica. Se le otorgó el comportamiento a la degradación del polímero, al corte de cadenas y al aumento en la ramificación dado el aumento de PEADr.

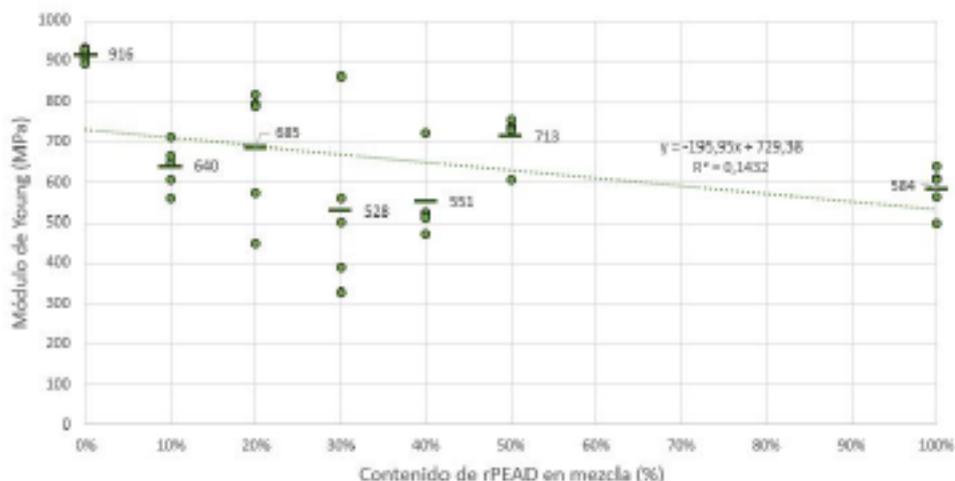


Figura 34. Módulo de Young según el contenido de PEADr

Fuente: Caracterización de mezclas de polietileno virgen con reciclado. Carvajal, Ignacio. 2016.

En la medición del límite de fluencia (ver figura 35), las muestras siguieron mostrando el comportamiento de las anteriores pruebas, siendo la muestra con 100% PEADr la que muestra el menor valor del límite a la fluencia con un promedio de 11MPa, en comparación, la muestra con 100% PEAD virgen obtuvo un valor de 18 MPa. Se obtuvo un comportamiento lineal a excepción de la muestra con 10% de PEADr la cual mostró valores muy bajos que salieron de la tendencia.

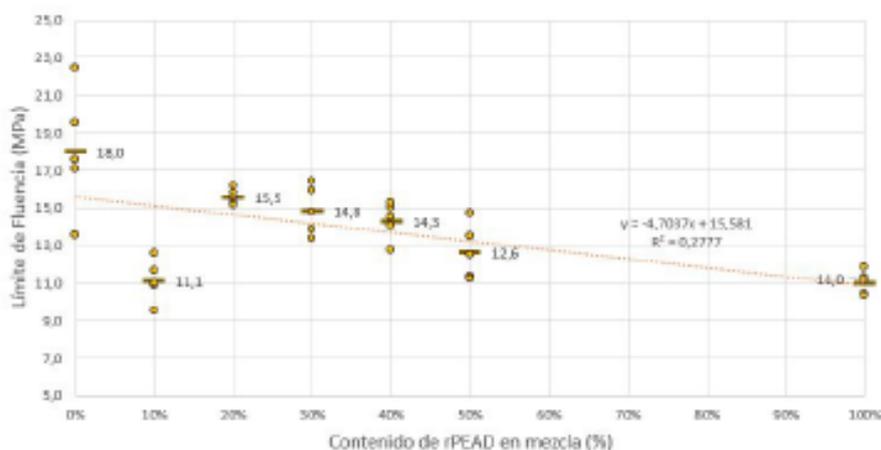


Figura 35. Límite de fluencia según el contenido de PEADr según el contenido de PEADr

Fuente: Caracterización de mezclas de polietileno virgen con reciclado. Carvajal, Ignacio. 2016.

Para el ensayo de rasgado que se muestra en la figura 36, se midió el espesor de cada probeta no se observaron diferencias a las esperadas, todas las probetas fallaron por

el ángulo recto. La muestra que mostró mayor resistencia a la prueba fue la de 100% PEAD virgen con una resistencia promedio de 187,2 N y la que menor resistencia mostró fue la 100% PEADr con un promedio de 152,1 N, continuando así con el comportamiento esperado en pruebas anteriores.

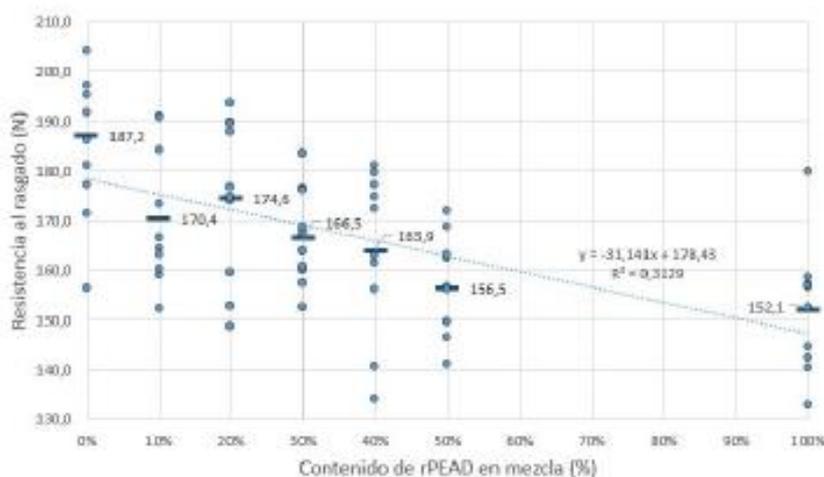


Figura 36. Resistencia al rasgado según el contenido de PEADr según el contenido de PEADr

Fuente: Caracterización de mezclas de polietileno virgen con reciclado. Carvajal, Ignacio. 2016.

Por último, en el ensayo Metl Flow Index a una temperatura de 190°C y un peso de 2,16 kg, la mezcla de PEAD virgen obtuvo los mayores niveles de fluidez, en contraparte la mezcla de 100% PEADr fue la que mayor resistencia mostró a fluir, haciendo que fuera el ensayo con mayor duración. Nuevamente se le otorgan los resultados al alto grado de ramificación presente en las muestras con base a su contenido de PEADr.

Dado el comportamiento de los datos, realizaron una regresión log-lineal con el fin de ajustar los datos obtenidos. Se determina que el ensayo de índice de fluidez es el más representativo en función de su alta correlación entre PEADv y PEADr por su comportamiento exponencial. Por último, el autor determina la ecuación 1, que permite representar el melt Flow index en función del contenido de PEADr.

$$\ln(MFI) = -2,306 * \%PEADr + 2,3429 \quad (\text{Ec. 1})$$

Multiplicando por e a ambos lados de la ecuación 1, el MFI se obtiene la ecuación 2.

$$MFI = * 10,41 * \exp^{-2,3606*\%PEADr} \quad (\text{Ec.2})$$

Obteniendo así la gráfica que relaciona el MFI con el contenido de PEADr en la mezcla presentado en la figura 37.

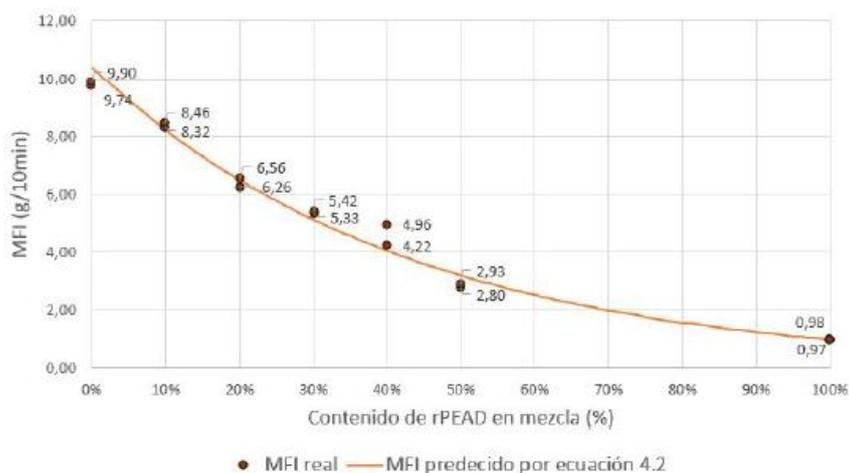


Figura 37. Ensayo Melt Flow Index según el contenido de PEADr

Fuente: Caracterización de mezclas de polietileno virgen con reciclado. Carvajal, Ignacio. 2016.

El trabajo demuestra que, bajo un proceso real de reciclaje, cuando el material PEAD ya ha tenido una vida útil, disminuyen sus propiedades debido a la exposición de rayos UV, sufre foto degradación. También sufre termo oxidación y degradación mecánica por las mismas condiciones de extrusión y de reciclaje.

A través de un consenso con el personal de mantenimiento y trabajadores del área de extrusión, en la figura 38 se observa un diagrama de operaciones de la misma área y se plantean los tiempos promedios para cada tarea fundamentados en la situación actual de la empresa (a los cuales se les agregó un *) y los tiempos promedios en otras empresas en las actividades que presentaron mayor variación en el tiempo sustentados en la

experiencia en distintas fábricas de la misma industria por parte del personal. En la tabla 6, se muestran los símbolos de las diferentes actividades ejecutadas en la empresa.

Tabla 6. Símbolos de actividades ejecutadas en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

SÍMBOLO	ACTIVIDAD
	Operaciones
	Inspección
	Transporte
	Combinada

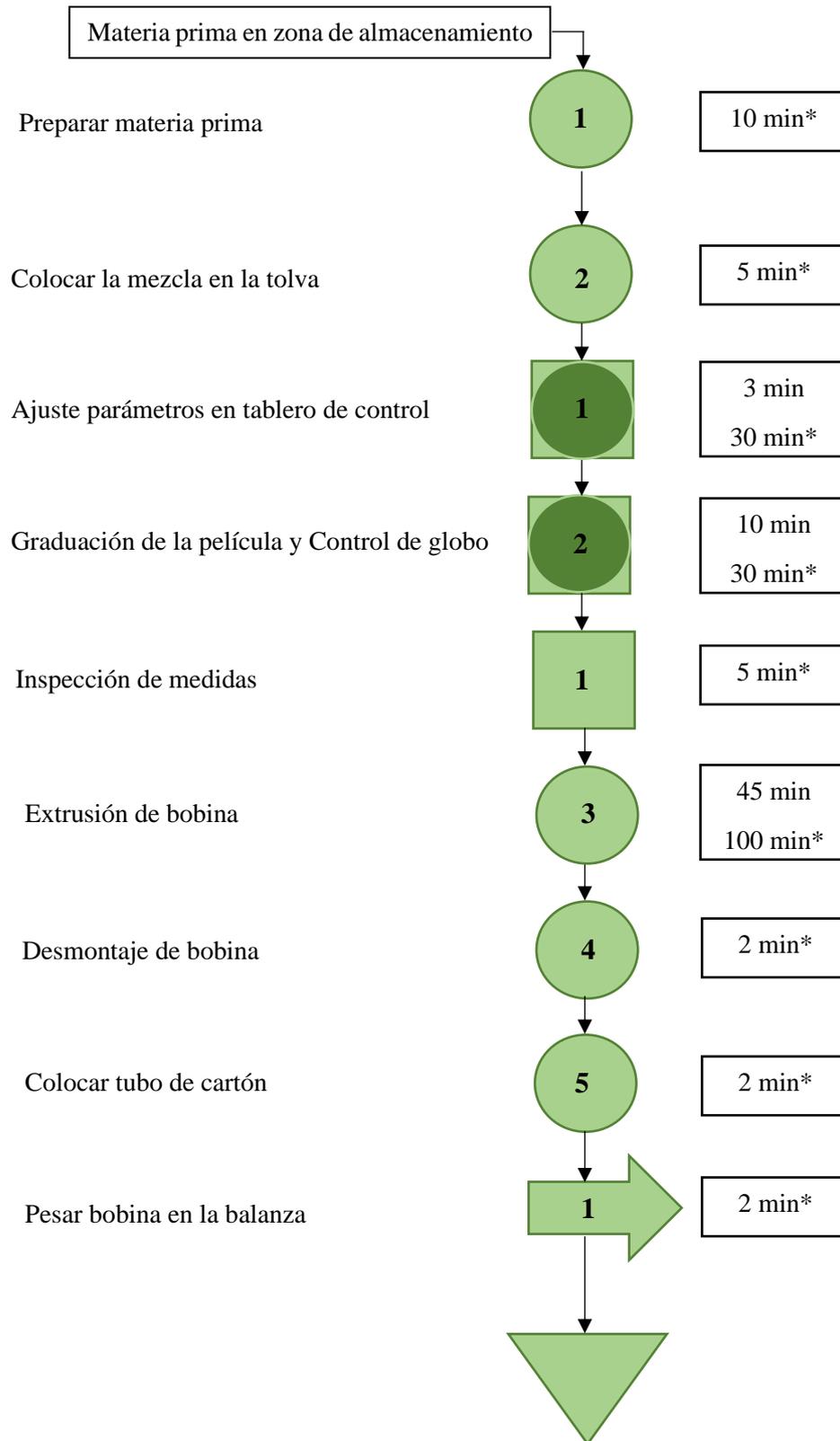


Figura 38. Diagrama de operaciones aplicado al proceso de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

- Plan de acción: ¿Cuáles son las implicaciones y costos de corregir el problema?

Para medir el consumo se utiliza como herramienta una pinza amperimétrica de mano Uni T UT202A multímetro de Rango automático AC DC 600 amperios, que se inserta en una de las líneas de alimentación y se coloca en un rango de 200A que permite la lectura de la intensidad de la corriente eléctrica. En la figura 39 se muestra el valor promedio 45.5 A de medición después de 10 tomas de lectura.



Figura 39. Lectura de consumo de energía

Una vez se obtiene el valor la medición del consumo en Amperios, se calcula la potencia real trifásica (ecuación 3) que indica la cantidad de energía eléctrica transferida de la fuente generadora al elemento consumidor (ecuación 4) (máquinas extrusoras) teniendo en consideración el tipo de corriente (AC) y el voltaje línea a línea. Para dicho cálculo se toma un factor de potencia de referencia de 0,96 para motores eléctricos trifásicos a plena carga.

$$W_{3\phi} = \sqrt{3} * V_{L-L} * I_{AC} * F.P \quad (\text{Ec.3})$$

Aplicando la fórmula

$$W_{3\phi} = \sqrt{3} * 220 * 45,5 * 0,96 \quad (\text{Ec. 4})$$

$$W_{3\phi} = 16644,3$$

$$kWh = \frac{16644,3}{1000} \approx 16,644$$

A continuación, se detalla la tabla 6 donde se presenta un cuadro comparativo que sale de tabular los datos obtenidos en el diagrama de operaciones.

Tabla 7. Tiempo proceso de extrusión

Proceso de extrusión	Tiempo (min)	kW	Tiempo (min)	kW
Preparar materia prima	10	2.77	5	1.385
Colocar mezcla en la tolva	5	1.385	5	1.385
Ajuste parámetros en tablero de control	30	8.31	3	0.831
Graduación de película y control de globo	30	8.31	10	2.77
inspección de medidas	8	2.216	5	1.385
Extrusión de bobina	100	27.7	45	12.465
Desmontaje de bobina	2	0.554	2	0.554
tubo de cartón	2	0.554	2	0.554
Pesar bobina en la balanza	2	0.554	2	0.554
Total	189	52.353	79	21.883

Con el fin de conocer qué tan factibles han sido las prácticas llevadas por la empresa hasta ahora, se establece la gráfica presentada en la figura 40, esta permite hacer una comparación entre el consumo y costo de la energía, con base en el diagrama de operaciones y considerando el tipo de materia prima utilizada.

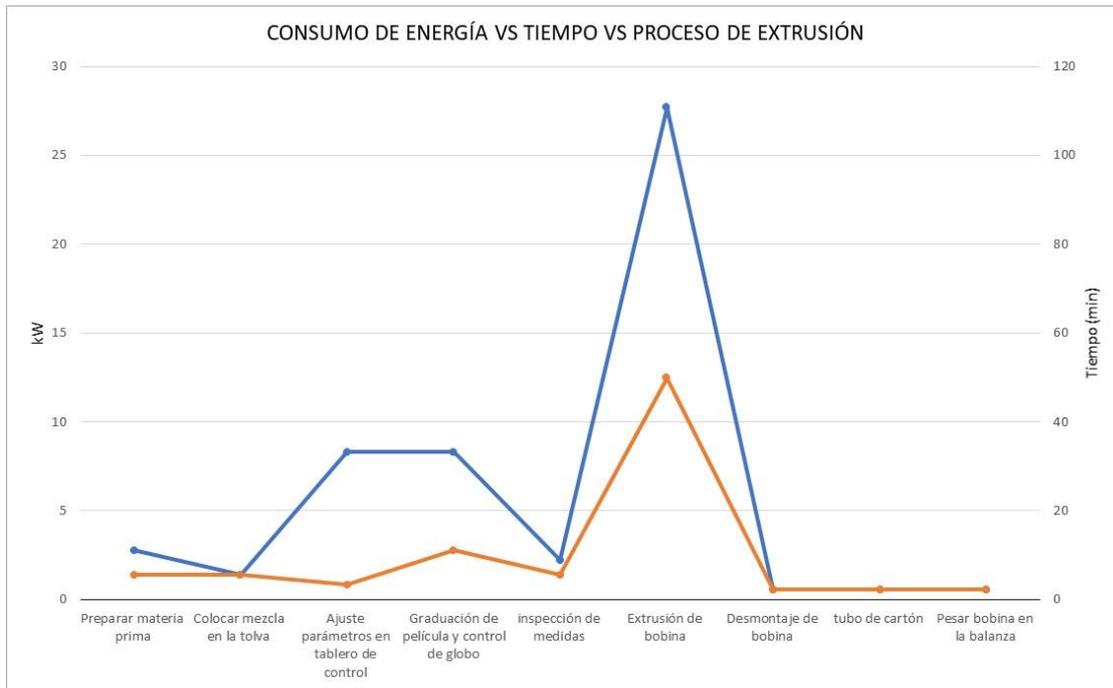


Figura 40. Gráfico consumo de energía vs proceso de extrusión

A través de la página oficial de Centrales eléctricas de Norte de Santander (CENS), figura 41, se consulta la tarifa de energía mercado regulado \$kWh que rigió durante el mes de junio de 2021. En la figura 42 se muestra una captura de pantalla del documento oficial.

Cientes y usuarios > Tarifas de Energía

Tarifas de Energía

Encuentra a continuación nuestras tarifas de energía para los años 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021:

2021

	Garantías Financieras	Rendimiento Financiero
Enero	PDF	PDF
Febrero	PDF	PDF
Marzo	PDF	PDF
Abril	PDF	PDF
Mayo	PDF	PDF
Junio	PDF	PDF

<https://www.cens.com.co/clientes-y-usuarios>

Figura 41. Página de Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS)

Fuente: www.cens.com.co

3	\$ 520.31	\$ 500.85	\$ 481.38	\$ 612.13	\$ 589.23	\$ 566.33
4	\$ 612.13	\$ 589.23	\$ 566.33	\$ 612.13	\$ 589.23	\$ 566.33
5	\$ 734.55	\$ 707.08	\$ 679.60	\$ 734.55	\$ 707.08	\$ 679.60
6	\$ 734.55	\$ 707.08	\$ 679.60	\$ 734.55	\$ 707.08	\$ 679.60
CS= Consumo de subsistencia Estratos 1, 2 y 3						
a) Altura inferior a 1.000 metros: 173 kWh-mes b) Altura superior a 1.000 metros: 130 kWh-mes						
TARIFA SERVICIO: NO RESIDENCIAL						
NIVEL	COMERCIAL E INDUSTRIAL			SERVICIO: OFICIAL		
	CENS	Compartido	Usuario	CENS	Compartido	Usuario
1	\$ 734.55	\$ 707.08	\$ 679.60	\$ 612.13	\$ 589.23	\$ 566.33
2			\$ 592.88			\$ 494.07
3			\$ 496.49			\$ 413.74
COSTO UNITARIO F.U.O. CUIF PARA TODOS LOS USUARIOS: 0 \$ / FACTURA. CONTRIBUCIÓN PARA LA CLASE DE SERVICIO NO RESIDENCIAL: 20%, EXCEPTO SECTOR OFICIAL Y EN EL SECTOR INDUSTRIAL, SEGÚN DECRETOS 2915/11 Y 4950/11. RESOLUCIONES CREG 079/97, 001/07, 019/07, 119/07, 168/08, 017/08, 097/08, 133/08, 135/08, 166/08, 122/09, 171/09, 173/11, 158/15, 180/14, 199/15, 015/18, 036/19, 012/20, 104/20, 003/21.						
El Costo base de comercialización (Cf) es de \$8,236						

Figura 42. Tarifa de energía regida en el mes junio de 2021

Fuente: www.cens.com.co

Una vez se obtiene el valor de la tarifa, se aplica a la sumatoria del tiempo obtenido en el diagrama de operaciones.

$$\text{Costo consumo} = 3,1 \text{ horas} * 16,644 \text{ kWh} * 679,6 \frac{\text{COP}}{\text{kWh}} \approx 35073,2 \text{ COP}$$

- Analizar las opciones

A continuación, se plantean las opciones para dar solución a los problemas de extrusión en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

- Trabajar con materia prima original

La figura 37, que relaciona el índice de fluidez con el contenido de PEADr, se toma como referencia para analizar los tiempos de operación según el tipo de material usado para extrusión, dado a que en esta se tiene en consideración las afectaciones que tiene el material durante un proceso real de reciclaje, dejando claro que las características del PEADr puede llegar a variar según las condiciones climáticas, tratamiento, y de almacenamiento de cada ciudad o lugar

Haciendo uso de la ecuación número 2, se calcula la cantidad que se logra extruir de una mezcla con contenido 25 - 75% de PEADv y PEADr respectivamente. Suponiendo las mismas condiciones de operación, se obtiene:

$$MFI = * 10,41 * \exp^{(-2,3606*0,75)} = 1,77 \text{ g}/10\text{min}$$

Ahora, considerando que en 10 min se logran extruir 9,90 g de la mezcla con contenido 100% PEADv, se calcula cuánto tiempo tomará extruir esa misma cantidad usando una mezcla de contenido 25 - 75% de PEADv y PEADr que son los porcentajes usados en la empresa INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S.

$$\text{Tiempo de extrusión} = \frac{9,90 \text{ g} * 10 \text{ min}}{1,77 \text{ g}} = 55,93 \text{ min}$$

Como resultado se obtiene un aumento de tiempo de 45,93 minutos al usar 75% de PEADr en la mezcla, lo que representa un aumento del 82,2% en el tiempo de extrusión.

Estos resultados se comportan de la misma forma que los presentados en la figura 40, y reafirman que el tiempo de extrusión es mayor conforme se trabaja con mayor contenido de PEADr. Se debe tener en cuenta la variación de la tasa de extrusión, para el ensayo Melt Flow Index utilizaron un plastómetro de extrusión, mientras que en una máquina extrusora de película de plástico cambian parámetros tales como las temperaturas de operación, velocidad en el tornillo sin fin y misma composición del material. Además de que disminuyen las propiedades de la bolsa, el uso de altos contenidos PEADr sin su debido proceso de limpieza, afecta físicamente al producto como se puede observar en las figuras 43 y 44 en donde se presenta una bolsa con material original y una bolsa, resultado del proceso de extrusión con la materia prima utilizada por la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.



Figura 43. Bolsa plástica producto de mezcla con contenido 75% de PEADr

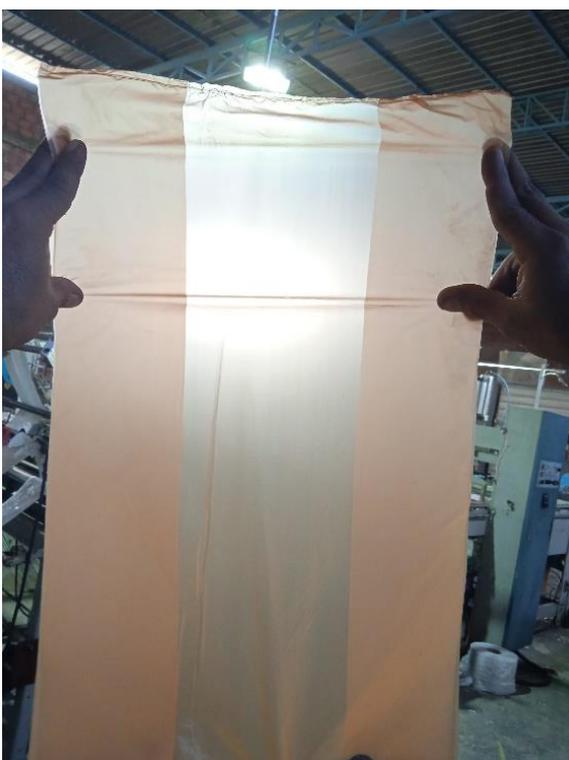


Figura 44. Bolsa plástica con PEADv
Fuente: Grupo Marplast

Aunque el uso de material original supone una mayor inversión aliviará en gran medida la cantidad de desperdicio presentado en la empresa, no solo mejorando la calidad

del producto, sino presentando un ahorro de energía al hacer menores los tiempos de operación en el área de extrusión y minorizando el uso de la aglutinadora.

b. Comprar el material ya peletizado

Para poder tratar el material reciclado proveniente de terceros y residuos producto de la misma empresa, se emplea una aglutinadora que por medio de sus cuchillas corta el material, la fricción que se produce entre el cuchillo y el mismo material hace que la temperatura suba al interior, poco a poco el material va alcanzando el punto de fusión, lo que hace que se formen pequeños pedazos, a lo cual se le denomina como material aglutinado. En este punto la empresa también incurre en un error y es que para que el material alcance la forma de pelets, se le añade agua para volver a bajar la temperatura y se fuerza con una pieza el material a pasar de nuevo por la cuchilla y este reduzca su tamaño. Ahora, en un proceso real de peletizado, el material aglutinado debería pasar a una peletizadora que también realiza un proceso de extrusión, en donde el molde permite la obtención de hilos a los que posteriormente se les hace pasar por agua para bajarle la temperatura, se secan a través de unos paños y por último pasan a un picador en donde este jala los hilos y conforme a la velocidad que se le imprima al motor se cortan las hebras (hilos), es decir, a mayor velocidad, menor es el tamaño del peletizado y viceversa.

Ahora, dado a que el polietileno reciclado (PEADr), no pasa por un proceso real de limpieza, las bolsas que traen impresiones de distintos tipos o suciedad producen afectaciones a la mezcla que disminuyen todavía más la calidad visual del producto.

Los tiempos de operación de la máquina aglutinadora varían de 9 a 12 horas, teniendo en cuenta que la potencia del motor que es de 50 hp, la lectura promedio de la intensidad de corriente, y tomando un factor de potencia de 0,96 trifásicos a plena carga, se calcula el consumo de energía en kWh.

$$W_{3\phi} = \sqrt{3} * V_{L-L} * I_{AC} * F.P$$

Aplicando la fórmula

$$W_{3\phi} = \sqrt{3} * 220 * 89.7 * 0,96$$

$$kWh = \frac{32813.1}{1000} \approx 32.813$$

Aplicando la tarifa regida en el mes de junio de 2021.

$$\text{Costo consumo} = 1 \text{ hora} * 32,813 \text{ kWh} * 679,6 \frac{COP}{kW} \approx 22,280 \text{ COP}$$

La compra del material ya peletizado se presenta como una opción para disminuir el desperdicio presentado en la línea de extrusión de bolsa plástica. Es importante para implementar dicha práctica, que el material pase por un tratamiento de limpieza y reciclaje para disminuir el retiro de los filtros de malla en la máquina extrusora. Si bien, el trabajar con material de este tipo no se compara con el uso de material original, si puede llegar a hacer la manipulación del material más sencilla, además de llegar a disminuir efectos tales como ojo de pescado y de esta forma mejorar la calidad visual del producto.

El kilogramo de material peletizado, en el área metropolitana de Cúcuta se puede encontrar en valores que rondan entre 4800 y 6000 por kg, esto representa una mayor inversión para la empresa, pero representaría una mejora en el producto final.

8.2.3.2. Defectos en las bobinas

- ¿Qué ha generado el problema?

La consecuencia directa en extrusión de un rodillo con una superficie no uniforme es que se produce un defecto en las bobinas, ya sea un defecto visual tales como daños en las orillas, bobinas convexas o cóncavas, centros aplastados u orillas astilladas. Además, si a esto se le agregan los problemas presentados por el uso de material de baja calidad,

se le suman problemas como desgarramiento de la película de polietileno o variaciones en la película de polietileno.

Los problemas con las bobinas suceden dado a que la empresa no hace el respectivo mantenimiento a cada uno de los rodillos a fin de ahorrar costos. Semanalmente a los rodillos, especialmente al jalador, se le agrega silicona para corregir cualquier desnivel que se pueda presentar (ver figura 45). Ahora, considerando que la película sale a una determinada temperatura, el calor se transfiere de un medio a otro, ocasionando que el rodillo jalador suba de temperatura, haciendo que la silicona presente grietas o que muescas se adhieran a la película de polietileno.



Figura 45. Rodillo jalador con silicona

La solución para este problema es que se implemente una actividad de inspección en el plan de mantenimiento que permita llevar un control sobre el estado de los rodillos y en caso de encontrar defectos, se permita la respectiva corrección.

9.3. Metodología Guía Técnica Colombiana GTC 45 aplicado al área de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta

El objetivo de la GTC 45 es proporcionar directrices para identificar peligros y valorar los riesgos. Conforme a lo establecido en el modelo para la aplicación de la Guía Técnica Colombiana GTC 45, se establecen las fases a seguir para la identificación de peligros y la evaluación de los riesgos.

9.3.1. Identificación de peligros

A través de inspección visual se reconocerán los actuales peligros en el desarrollo de las actividades asociadas al proceso de extrusión, evaluando la forma en la que labora el personal a la hora de operar la máquina y considerando los aspectos que sugiere la GTC 45 que se presentan a continuación:

- Actividades rutinarias.
- Actividades no rutinarias.
- Actividad del personal que maneja las máquinas extrusoras.
- Caracterización de los peligros dados a la exposición con las partículas del ambiente que pueden afectar la salud y la seguridad de los operarios.
- Caracterización de los equipos, maquinaria, materiales usados en el normal desarrollo del trabajo.

9.3.2. Valoración de los riesgos

Según lo establecido en la norma GTC 45 se establece para a la valoración del riesgo los siguientes ítems:

- a. Evaluación de los riesgos considerando los protocolos implementados actualmente en la empresa.
- b. Definir criterios con base a la aceptabilidad del riesgo.

- c. Esclarecer si son o no aceptables según los criterios existentes para mantener los riesgos bajo control y cumplir con los requisitos legales.

Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos para la determinación de los criterios:

- Tener en cuenta la legislación vigente y demás requisitos.
- Consultar con las partes interesadas lo que se ha de planificar para obtener comentarios y conceptos de viabilidad.
- Aspectos técnicos, sociales y financieros del personal.
- Documentar resultados de la valoración.

9.3.3. Evaluación de los riesgos

Corresponde al proceso de determinar la probabilidad de que ocurran eventos específicos y la magnitud de sus consecuencias mediante el uso sistemático de la información disponible. Para llevar a cabo la evaluación del riesgo se determinarán los siguientes parámetros:

$$NR = NP \times NC$$

En dónde:

NP = Nivel de Probabilidad

NC = Nivel de Consecuencia

Así mismo, para determinar el NP se requiere:

$$NP = ND \times NE$$

En dónde:

ND = Nivel de Deficiencia

NE = Nivel de Exposición

Para poder determinar la evaluación de los riesgos, primero es necesario determinar el Nivel de Deficiencia según lo establecido en la tabla 8.

Tabla 8. Tabla evaluación de riesgos.

Nivel de Deficiencia (ND)	Valor de ND	Significado
Muy alto (MA)	10	Se han detectado uno más peligros que determinan como posible la generación de incidentes o consecuencias muy significativas o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula, no existe o ambos
Alto (A)	6	Se han detectado uno o más peligros que pueden dar lugar a consecuencias significativas o a la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada o ambas
Medio (M)	2	Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativas o de menor importancia o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada o ambas.
Bajo (B)	No se asigna valor	No se ha detectado consecuencia alguna o las eficacias del conjunto de medidas preventivas existentes es alta o ambos. El riesgo está controlado. Estos peligros se clasifican directamente en el nivel de riesgo y de intervención cuatro (IV).

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

Posteriormente se define el nivel de exposición con base a la tabla 9.

Tabla 9. Nivel de exposición.

Nivel de exposición	Valor de NE	Significado
----------------------------	--------------------	--------------------

Continua (C)	4	La situación de exposición se presenta sin interrupción o varias veces con tiempo prolongado durante la jornada laboral
Frecuente (F)	3	La situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral en tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	La situación de exposición se presenta durante alguna vez durante la jornada laboral y por un periodo de tiempo corto.
Esporádica (EE)	1	La situación de exposición se presenta de manera eventual

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

Con base a la tabla 9 para cada peligro se define un nivel de probabilidad (ver tabla 10).

Tabla 10. Nivel de probabilidad. Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

Nivel de probabilidad	Valor de NP	Significado
Muy Alto (MA)	Entre 40 y 20	Situación deficiente con exposición continua o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alto (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien, situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible varias veces en la vida laboral.
Medio (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente, Es posible que suceda algo alguna vez.
Bajo (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica, o situación son anomalía destacable con cualquier nivel de exposición. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

Considerando los resultados, se define el nivel de probabilidad con base en la tabla 11 de Baremos que se presenta a continuación:

Tabla 11. Nivel de deficiencia.

Niveles de probabilidad (NP)		Nivel de Exposición (NE)			
		4	3	2	1
Nivel de deficiencia (ND)	10	MA - 40	MA - 30	A - 20	A - 10
	6	MA - 24	A - 16	A - 12	M - 6
	2	M - 8	M - 6	B - 4	B - 2

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

Se determina el nivel de consecuencias con base a los siguientes parámetros (ver tabla 12):

Tabla 12. Nivel de consecuencias.

Nivel de consecuencias	NC	Significado
		Daños personales
Mortal o catastrófico (M)	100	Muerte(s).
Muy grave (MG)	60	Lesiones o enfermedades graves irreparables (incapacidad permanente, parcial o invalidez).
Grave (G)	25	Lesiones o enfermedades con incapacidad laboral temporal (ILT).
Leve (L)	10	Lesiones o enfermedades que no requieren incapacidad.

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

Tomando en cuenta el Nivel de probabilidad y el Nivel de Consecuencia se dispone el Nivel de Riesgo considerando la tabla 13:

Tabla 13. Nivel de riesgo.

Nivel de riesgo	Valor de NR	Significado
-----------------	-------------	-------------

I	4000 – 600	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
II	500 – 150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
III	120 – 40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comparaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es aceptable.

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

En dónde cada nivel de riesgo está sujeto a un grado de aceptabilidad, este se muestra en la tabla 14:

Tabla 14. Grado de aceptabilidad.

Nivel de riesgo	Significado
I	No Aceptable
II	No aceptable o Aceptable con control específico
III	Aceptable
IV	Aceptable

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

Una vez se obtienen los resultados se define el nivel de riesgo teniendo en cuenta la tabla 15:

Tabla 15. Nivel de consecuencias.

Nivel de riesgo NR = NP x NC		Nivel de probabilidad (NP)			
		40 – 24	20 – 10	8 – 6	4 – 2
	100	I 4000 - 2400	I 2000 – 1200	I 800 – 600	II 400 – 200

Nivel de consecuencias (NC)	60	I 2400 - 1440	I 1200 - 800	II 480 - 360	II 200 III 120
	25	I 1000 - 800	II 500 - 250	II 200 - 150	III 100 - 50
	10	II 400 - 240	II 200 III 100	III 80 - 60	III 40 IV 20

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 45.

A continuación, se establece el programa, planes y medidas de control de riesgos aplicado al área de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

9.3.4. Caracterización del proceso de extrusión y determinación de los posibles peligros por desarrollo de dicha actividad.

8.3.4.1. Caracterización del proceso de extrusión

Los procesos que se llevan a cabo en el área de extrusión se dividen en dos partes: producción llevada a cabo por los operarios y mantenimiento a cargo del jefe de mantenimiento.

a. Funciones desarrolladas por el operario de la máquina extrusora

Por cada turno laboral se emplean 2 extrusores y un ayudante que solo labora en la jornada diurna.

- Subir breaker principal.
- Subir mini breaker de zonas de calentamiento y control.
- Colocar selectores en posición de trabajo para encender pirómetros.
- Verificar tiempo de calentamiento máquina para alcanzar temperaturas ideales de trabajo.

- Abrir la perilla para controlar el flujo de aire y crear la burbuja que da el diámetro a la bolsa plástica.
 - Alimentar tolva de carga con la mezcla proveniente de la zona de mezclado.
 - Iniciar motor principal, jalador y embobinador.
 - Enhebrar máquina y calibrar la película de polietileno una vez esta sale de la boquilla de la extrusora.
 - Bajar, pesar y transportar la bobina extruida.
- b. Funciones desarrolladas por el jefe de mantenimiento a nivel mecánico y electrónico.

El jefe de mantenimiento se encuentra en planta durante la jornada diurna y se encuentra disponible a través del celular para corregir alguna eventualidad que se pueda producir durante la noche.

- Evaluación del desgaste en los rodillos producto la fricción.
- Revisar el estado de los elementos mecánicos de transmisión: bandas en v, caja de engranajes.
- Revisar el estado del motor principal (20 hp), jalador (2hp) y embobinador (3hp).
- Revisar zonas de tornillo sin fin.
- Lubricar elementos los elementos mecánicos que lo necesiten.
- Evaluar el correcto estado y funcionamiento de los elementos electrónicos que son parte del tablero de control: contactores, pirómetros, termocuplas, variadores de frecuencia, mini breaker, resistencias y circuito de fuerza.

8.3.4.2. Determinación de los posibles peligros por actividad

Dado a que la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S no cuenta con documentación existente que registre un seguimiento de accidentes, enfermedades y

ausentismos laborales presentados, la identificación de peligros y caracterización de los riesgos se realizan a través de observación directa y en entrevistas con los empleados que tienen un cargo asociado al área de extrusión.

En el cargo de mantenimiento se habló con Henry Martínez Contreras, jefe de mantenimiento de toda la planta, a través de un seguimiento a sus actividades laborales durante varios días mediante inspección visual, se evidencia un actuar en las máquinas sin hacer uso de elementos de protección personal. En el desarrollo de sus actividades diarias en las distintas áreas de la empresa y en especial en el área de extrusión se evidenció una alta exposición al ruido a causa de los motores de las máquinas extrusoras, exposición a altas temperaturas producto de la fricción entre los elementos mecánicos, resistencias, motores y ambiente. También se hizo evidente la falta de iluminación en el área debido a las pocas bombillas presentes en el área y a una posible falta de potencia en ellas. Además, se evidencia que en el desarrollo de sus actividades dada la manipulación de aparatos electrónicos se presenta una exposición a radiaciones no ionizantes. También, se presenta la exposición a fibras de plástico por contacto directo o con el mismo ambiente. Por último, a nivel de seguridad en el normal desarrollo de actividades se pueden presentar golpes leves por el manejo de herramientas manuales y posiciones que podrían suponer afectaciones a la mecánica natural del cuerpo.

En el área de extrusión se habló con el operario Carlos García quien es uno de los encargados de manipular la máquina a fin de obtener la película de plástico, menciona que el periodo de tiempo que lleva trabajando para la empresa es de once meses y que este es su tercer empleo como extrusor, que es un arte que ha venido aprendiendo de forma empírica con el paso del tiempo. A través de inspección directa se evidencia la falta de capacitación en procedimientos para un trabajo seguro, pues desarrolla sus actividades sin hacer uso de elementos de seguridad que protejan su integridad física. Los factores de

riesgo presentes en el desarrollo de actividades de extrusión son exposición a altos niveles de ruido dado al ruido propio de los motores de la máquina, exposición a altas temperaturas debido al ambiente, a la temperatura misma de la máquina y manipulación de la película con sus manos, falta de iluminación debido a pocas bombillas o falta de potencia en las mismas. También se evidencia exposición a radiaciones no ionizantes como lámparas y equipos electrónicos. A nivel ergonómico se pueden presentar afectaciones a la mecánica del cuerpo debido al levantamiento de las bobinas para pesarlas y transportarlas al área de sellado y corte, a la manipulación de barriles para cargar la tolva de la extrusora y manipulación de piezas de gran tamaño. Por último, a nivel físico se presenta la exposición a fibras de plástico por contacto directo o con el mismo ambiente.

A nivel de seguridad se evidencia la falta de señalización, de orden y de aseo para evitar posible atrapamiento de algún miembro del cuerpo, golpes, cortaduras o accidente eléctrico.

8.3.4.3. Caracterización de la exposición a riesgos

La exposición de los peligros mencionados a continuación hace parte del diagnóstico de las condiciones de trabajo y son de naturaleza física, química, biomecánica, biológica, psicosocial, condiciones de seguridad y fenómenos naturales.

- Exposición a fibras de plástico

La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que partículas muy finas pueden conllevar a desarrollar problemas de salud con base al nivel de exposición de las personas y a la concentración del agente contaminante. Personas que padezcan o tengan antecedentes de enfermedades respiratorias como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestión nasal frecuente y enfermedades cardíacas como problemas de tensión o congestión cardíaca, pueden tener una mayor probabilidad de que sus afecciones avancen

más rápido al estar expuestos a distintos tipos de fibras en el ambiente. También las personas pertenecientes al grupo de la tercera edad tienen más susceptibilidad a la exposición de agentes contaminantes, razón por la cual puede que presenten anomalías en su frecuencia cardíaca (Díaz, 2018).

Los microplásticos en el ambiente pueden producir resequeidad en los ojos, picazón, lagrimeo y enrojecimiento que puede desencadenar afecciones respiratorias como congestión y goteo nasal, estornudos, dolor de cabeza frecuente, ardor de garganta, toz, sensación de ahogo, bronquitis y al nivel de la superficie de la piel puede producir irritación, resequeidad, a nivel de enfermedades graves puede causar asma, cáncer y rinitis, enfermedades frecuentes como resfriado gripe pueden ser acusadas debido a altos niveles de exposición, emocionalmente puede ser causante de irritabilidad, ansiedad y mareo (Díaz, 2018).

- Exposición a altas temperaturas

El cuerpo humano está dotado de un valioso y complejo sistema de regulación que permite mantener la temperatura corporal dentro de límites adecuados para la salud y la vida.

Al entrar el cuerpo de forma continua a una temperatura muy elevada, el cuerpo empieza a activar una serie de mecanismos para intentar regularla, dentro de estos está la vasodilatación que es cuando los vasos sanguíneos de la piel se dilatan de manera intensa, otro mecanismo es la sudoración, común cuando el cuerpo alcanza una temperatura por encima de los 37 °C y por último se presenta la reducción de producción de calor lo que provoca una producción excesiva del calor, como el temblor y la termogénesis química (Revueltas, Betancourt, Toro, & Martínez, 2015).

Se identifican dos tipos de trastornos que pueden ser provocados por el calor, sistémicos y locales, alguno de los síntomas del que se menciona primeramente pueden ser calambres, fácil agotamiento y choque de calor, dentro del trastorno local se encuentran las afecciones cutáneas, incluyendo varios tipos de miliaria, urticaria y por último también se pueden presentar cambios emocionales debido al calor como irritabilidad, ausentismo y disconformidad, los cuales pueden repercutir en un bajo enfoque a la hora de realizar las tareas correspondientes, aumentando así la posibilidad de un accidente (Revueltas, Betancourt, Toro, & Martínez, 2015).

- Exposición a alto voltaje

La resistencia que ofrece el cuerpo al paso de la corriente puede variar con base a las condiciones climáticas que se estén presentando, calor o humedad, también puede cambiar según la el tipo de tensión y el tiempo que esté en contacto con el cuerpo humano, la resistencia se puede considerar constante para 220 voltios en adelante y es de $\cong 1500$ ohmios. Las máquinas extrusoras en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta trabajan con un voltaje de 220v trifásica (Henaó, 2014).

Durante el tiempo en el que los electrones viajan a través del cuerpo, se ven afectadas de inmediato funciones como la respiración y la circulación, las cuales sin una pronta reanimación podrían llegar a ser irreversibles. Los riesgos que pueden ocurrir por accidentes eléctricos son bloqueo de epiglotis, espasmo de laringe, espasmo coronario, contracción de las vías respiratorias, shock global y quemaduras de diferentes grados. A su vez en caso de una parálisis también se pueden provocar lesiones por caída, deterioro del tejido nervioso o contracciones musculares violentas; también, pueden ocurrir lesiones provocadas por el incendio de algún equipo o volatilidad de algún líquido y en el peor de los casos la muerte (Henaó, 2014).

- Exposición a riesgos mecánicos

La Guía Técnica Colombiana GTC 45, define el factor de riesgo mecánico como “objetos, máquinas, herramientas que, por condiciones de funcionamiento, diseño, forma o tamaño, ubicación y disposición del último, tiene la capacidad potencial de entrar en contacto con las personas o materiales, provocando lesiones en los primeros o daños en los segundos”. También hace mención de las principales fuentes generadoras de este tipo de riesgos “herramientas manuales, equipos y elementos a presión, manipulación de materiales, puntos de operación y mecanismos en movimiento”.

Los riesgos mecánicos derivan en golpes, incrustación de partículas en el cuerpo o proyección de herramientas, también en lesiones por algún esfuerzo que excede lo necesario en la valoración, en el peor de los casos pérdida de alguna extremidad por aplastamiento, corte o la muerte (Henao, 2014).

- Exposición a riesgos biomecánicos

Las acciones repetitivas durante la jornada laboral, pueden conllevar a forzar posturas, también una mala distribución del peso en trabajos en los que se deba maniobrar carga, lo cual con el paso del tiempo puede dar lugar a algunas perturbaciones musculares y esqueléticas de tipo inflamatorio o degenerativo a nivel muscular, daños en los tendones, nervios, articulaciones, ligamentos, etc. Con el transcurrir del tiempo las lesiones se van transformando y pasan de ser sensaciones leves una vez terminada la jornada laboral a estar presentes durante toda la misma o al momento ejecutar alguna acción, con el avance de los síntomas es más difícil que desaparezcan durante el tiempo de reposo (Leguizamon, Bravo, & Cardenas, 2020).

Las enfermedades más frecuentes a razón de biomecánica son tendinitis, tenosinovitis, epicondilitis, síndrome del túnel carpiano, síndrome cervical por tensión,

dedo en gatillo, ganglio, bursitis, hernia, lumbalgia (Leguizamon, Bravo, & Cardenas, 2020).

- Exposición a altos niveles de ruido

La exposición a altos niveles de ruido en el ambiente laboral puede causar deficiencia auditiva, denominada como hipoacusia laboral. Las patologías asociadas a estas condiciones son pérdida auditiva (trauma acústico), disminución en la capacidad de concentración, irritabilidad, dolor, tinnitus y distorsión en la comunicación (Merino, Zapata, & Finkelstein, 2006).

- Iluminación

Las patologías asociadas a la falta de iluminación en el lugar de trabajo son fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés, además de accidentes (Intituto Sindical de Trabajo, s.f.).

Idealmente un punto visual de confort se consigue en una relación proporcionada de cantidad, calidad y estabilidad de la luz. No se deben presentar reflejos, contrastes y tampoco parpadeo en las fuentes de iluminación. Si es de día igual se debe disponer de luz artificial para reforzar la luz en casos en donde la luz natural no sea suficiente. Se debe cumplir con los niveles mínimos de iluminación regulados (Intituto Sindical de Trabajo, s.f.).

- Accidentes de tránsito

Correspondiente a accidentes de tránsito fuera de las instalaciones.

- Movimientos telúricos

Las personas son afectadas de forma directa por los desastres naturales causados por movimientos telúricos, razón por la cual se establecen reglamentos y guías para la

prevención en cuanto al modo de operar ante posibles adversidades de este tipo, ejemplo de esto son el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10, del ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial (de la Cruz, Medina, & Wlamyr, 2021), también la misma GTC-45 en cuanto a la evaluación del riesgo.

Contusiones, fracturas, laceraciones, cortaduras, amputaciones y muerte son las formas físicas en las que se poder ver afectado el operario en caso de un desastre de ese tipo.

8.3.4.4. Valoración de los riesgos

Para dar cumplimiento a la valoración de riesgos se parte basándose en la información proporcionada por la misma empresa, por las entrevistas realizadas al personal y por la inspección visual llevada a cabo por el autor del presente trabajo de grado. Se tienen en cuenta los aspectos operacionales y técnicos para realizar los procedimientos, además de la probabilidad de ocurrencia en los riesgos y su probable consecuencia para establecer la matriz de riesgos tal como lo establece la norma GTC 45. En el anexo 1 se presenta el desarrollo de la matriz de riesgos para la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta.

9.3.5. Medidas de prevención y control de los riesgos en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta

Una vez establecida e interpretada la matriz de riesgos, se evidencia que la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S no cuenta con las correctas medidas de prevención y control de accidentes en el área de extrusión, lo que puede desencadenar en graves accidentes perjudicando tanto a la empresa como al mismo personal. Con el objetivo de mejorar las condiciones de seguridad y salud se proponen protocolos de prevención y control para ser implementados tanto en la fuente, en el medio y en el trabajador.

- Medidas de prevención y control personal en el área de extrusión

A continuación, se presenta la tabla 16, en la cual se describen los elementos de protección personal que debe usar el operario durante toda su jornada laboral.

Tabla 16. Elementos de protección personal

Elemento de protección individual (EPI)	Descripción	Personal
	<p>Fabricados en cuero tipo carnaza para proteger las manos en actividades donde hay exposición trabajos, manipulación de elementos pesados y operación de herramientas industriales.</p> <p>Usado en labores industriales en sectores como: construcción, servicios de mantenimiento y aseo público, minería, petróleos, instalaciones generales y demás trabajos donde sea necesario proteger las manos de riesgos de quemaduras y cortes.</p>	Operario
	<p>El protector auditivo tipo copa, está especialmente diseñado para aislar los oídos del usuario de la fuente de ruido.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cumple ANSI S3.19 - Protección 25 dB - Su diadema rota para permitir su uso con casco. - Labores generales con presencia de ruido en exceso por periodos prolongados producidos por maquinaria 	Operario y mantenimiento
	<ul style="list-style-type: none"> - Botas de seguridad bajo la Norma NTC ISO20345 - Calzado eléctricamente aislante - Capellada: Corte elaborado en cuero Mocasín, cuero semi graso, calibre 1,8 -2,0 mm. 	Operario y mantenimiento

	<ul style="list-style-type: none"> - Suela: Poliuretano (PU), - Puntera de seguridad: Plástica, Dieléctrica y extra liviana, resistente al impacto noma EN 12568. 	
	<p>Deben tener guardas laterales, superiores e inferiores, de manera que protejan contra las partículas de mediano impacto proyectadas al desplazarse por sitios en los cuales existe el riesgo de partículas en proyección.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Monolentes para protección visual en policarbonato, utilizados como protección primaria de acuerdo a recomendaciones de OSHA. - Aptos para trabajos en exteriores e interiores, diseñados para proteger contra impactos a alta y baja velocidad. - Tintes de acuerdo a requerimientos de ANSI Z87.1-2010. - Adecuados para proteger contra rayos ultravioleta y espectros de baja concentración. 	Operario y mantenimiento
	<p>ANSI Z89.1 – 2003: Casco Industrial Tipo I (Protección contra impactos superiores), Clase G. (Protección limitada frente a contactos accidentales y de corta duración con elementos conductores con bajo voltaje –Pruebas a 220 v–).</p>	Operario y mantenimiento

	<p>Brinda una efectiva, confortable e higiénica protección respiratoria contra la gran mayoría de polvos y partículas sin presencia de aceite.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aprobado por NIOSH 42.CFR.84. -De Doblar -Durabilidad Media -Fabricado con un medio filtrante electrostático -Avanzado, novedoso sistema de retención de partículas que permite mayor eficiencia del filtro con menor caída de presión. 	<p>Operario y mantenimiento</p>
	<p>El cinturón ergonómico mejora la postura al momento de manipular carga, incrementa la presión abdominal, mantiene alineada la espalda y reduce los esfuerzos mecánicos durante el levantamiento de carga.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Restaura la alineación de la columna limitando la flexión pélvica. - Limita las posiciones incorrectas del usuario. - Previene lesiones en la espalda baja y/o dolor que provoca la carga de objetos pesados. - Apoyo en el área lumbar en los esfuerzos de levantar cargas. 	<p>Operario y mantenimiento</p>
	<p>Guantes dieléctricos clase 0 (1000 Voltios) certificados en especificaciones de la norma europea EN 60903:2003 y de la norma internacional IEC 60903:2002.</p>	<p>Mantenimiento Eléctrico</p>

	<p>Bata laboral con el fin de proteger la ropa y la piel en caso de que una sustancia amenace con derramarse.</p>	<p>Operario y mantenimiento.</p>
---	---	----------------------------------

- Medidas de prevención y control en la fuente en el área de extrusión:

En la tabla 17 que aparece a continuación, se presentan las señales de prevención que conforme a los resultados obtenidos en la matriz y a la NTC1461, servirán de forma visual como una advertencia a los protocolos de seguridad que se deben aplicar tanto al personal como personas externas que vayan a tener interacción física con el área de extrusión, además de las señales de prevención de riesgo en la misma.

También se establece la tabla 18, que servirá como plan de acción para dar cumplimiento las diferentes medidas de intervención establecidas en la matriz de riesgos. Además, se crearon fichas de control para dar seguimiento a las diferentes actividades de capacitación, ausencias laborales y accidentes en el área de trabajo (ver figuras 46, 47 y 48).

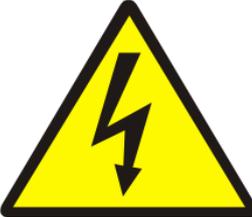
<p>Se debe usar protección respiratoria</p>		<p>Se debe usar protección para la cabeza</p>	
<p>Se debe usar protección para los ojos</p>		<p>Se deben usar guantes de protección</p>	
<p>Precaución, riesgo de choque eléctrico</p>		<p>Precaución, riesgo mecánico</p>	

Tabla 17. Señales de prevención de riesgos

Tabla 18. Plan de acción para el cumplimiento de las medidas de control

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	ESTADO			Fecha
		No realizado	Parcialmente realizado	Realizado	
Capacitación 5 reglas de oro del mantenimiento eléctrico	Gerencia	X			
Capacitación contra control del fuego, reportes de actos y condiciones anormales	Gerencia	X			
Capacitación sobre posturas de trabajo y manipulación de cargas	Gerencia	X			
Capacitación sobre el cuidado auditivo	Gerencia	X			
Capacitación del autocuidado	Gerencia	X			
Capacitación protocolo riesgos eléctricos	Gerencia	X			
Compra de artículos de emergencia para desastres naturales (botiquín, linternas, extintores, camilla,)	Área administrativa	X			
Conformación y capacitación brigadas de emergencia	Gerencia y personal	X			
Verificar iluminación y ruido en el área de trabajo	Área administrativa	X			
Capacitación primeros auxilios	Gerencia	X			
Compra de elementos de protección personal	Área administrativa		X		
Compra señalización elementos de seguridad, tipos de riesgos y extintor	Área administrativa	X			
Exámenes médicos periódicos	EPS	X			

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA		REGISTRO DE ASISTENCIA			VERSIÓN 01	
					Página 1 de 1	
Fecha: __/__/__		Hora de inicio: _____		Hora de finalización: _____		
Tipo de capacitación:		Reunión <input type="checkbox"/>		Capacitación <input type="checkbox"/>		
Tema de capacitación: _____						
N°	NOMBRE			N° CÉDULA	CARGO	FIRMA
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Figura 46. Ficha de registro de asistencia

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA		REGISTRO DE ACCIDENTES EN EL TRABAJO					VERSIÓN 01	
							Página 1 de 1	
Nombre	sexo	Cargo	Área	Fecha		EPS	N° días de incapacidad	Muerte
				Día	Mes			

Figura 47. Ficha de registro de accidentes en el trabajo

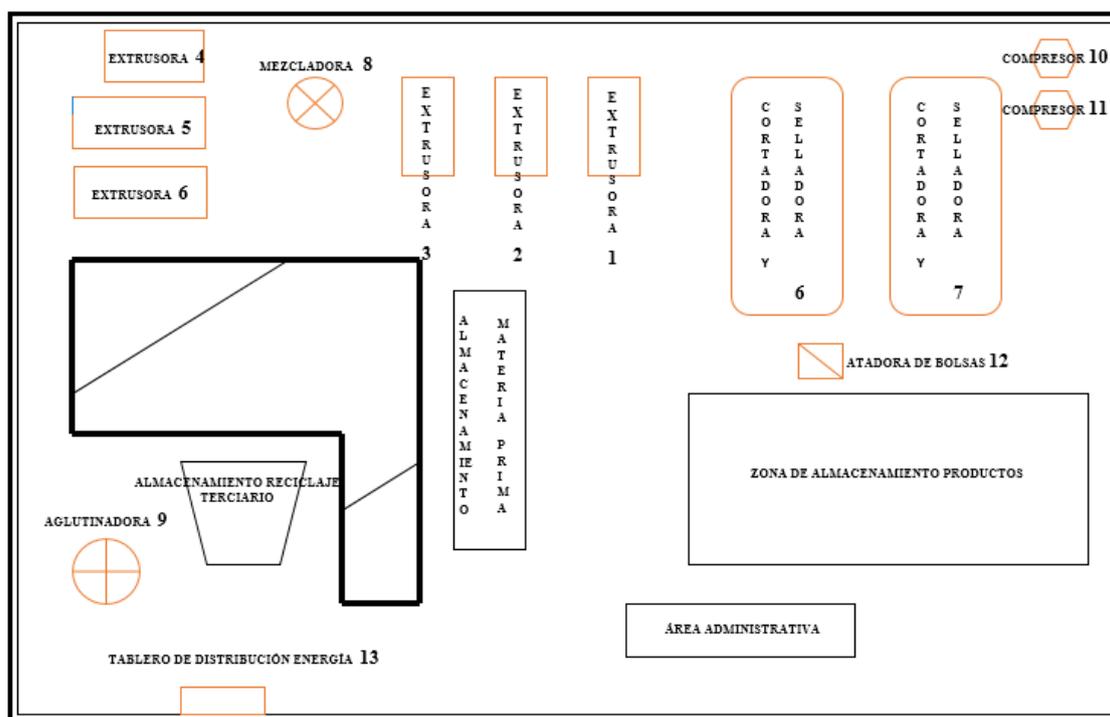


Figura 49. Distribución de maquinaria en planta

9.4.2. Codificación de las máquinas

Tomando como fundamento la figura 49, se realiza la lista de máquinas y equipos presentada en la tabla 19 a fin de poder realizar posteriormente la codificación de éstas. Cabe resaltar que a pesar de que se listen todas las máquinas, el presente trabajo se centra solo en el área de extrusión, aun así, servirá como fundamento y guía para ser aplicado a las demás áreas y procesos de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

Tabla 19. Lista de máquinas y equipos

ÁREA	DISPOSICIÓN EN EMPRESA	NOMBRE
Extrusión	1	Extrusora 1
	2	Extrusora 2
	3	Extrusora 3
	4	Extrusora 4
	5	Extrusora 5
	6	Extrusora 6

Sellado y corte	7	Selladora y cortadora 7
	8	Selladora y cortadora 8
Sistemas y equipos	9	Mezcladora 9
	10	Aglutinadora 10
	11	Compresor 11
	12	Compresor 12
	13	Atadora de bolsas 13
	14	Tablero distribución de energía 14

9.4.3. Codificación de máquinas y equipos

A continuación, se le asigna un código a cada una de las máquinas y equipos listados en la tabla 19 teniendo en cuenta que el código debe ser único e irreplicable, los parámetros que se consideran son Área, Máquina, Parte o Elemento y Número consecutivo. En la tabla 20 se presenta la construcción de los códigos asignados para el área de extrusión.

Tabla 20. Códigos asignados al área de extrusión

Área	Caracteres área
Extrusión	EX
Sellado y corte	SC
Aglutinadora	AG
Mezcladora	ME
Aire comprimido	AC



Máquina	Número de máquina
Máquina extrusora # 1	EX01
Máquina extrusora # 2	EX02
Máquina extrusora # 3	EX03
Máquina extrusora # 4	EX04
Máquina extrusora # 5	EX05



Componente	Número de componente
Transmisión	TR01
Cambio de mallas	CM01

Rodillos jaladores	RJ01
Soportes	SP01
Sistema de aire	SA01
Barril	BR01
Tornillo sin fin	SF01
Sistema eléctrico	SE01
Tablero de control	TC01
Turbina	TU01

9.4.4. Tarjeta maestra de datos

A través de observación directa se crean las tarjetas maestras de datos con la finalidad de dar facilidad tanto a operarios como personal de mantenimiento de obtener información técnica, operativa y general de cada una de las máquinas extrusoras. La información que se presenta en cada una de ellas, nace de la recopilación de datos que se obtienen a través de placas del fabricante y que aportan datos tales como tensión, intensidad de corriente, potencia, frecuencia, velocidad de operación, etc. Además de características físicas propias de la máquina, nombre del distribuidor y disposición de manuales.

En la figura 50, se presenta una tarjeta de datos de una máquina extrusora presente en la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S. (anexo 2).

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		TARJETA MAESTRA DE DATOS				Fecha:	
						Versión:	
DATOS GENERALES							
Máquina / equipo				Código			
				Tipo			
Marca		Peso:		Fotografía de la maquina			
Dimensiones	Alto						
	Ancho						
	Largo						
Otros datos							
Accionamiento				Conexión			
Capacidad de trabajo							
DATOS DEL DISTRIBUIDOR							
Distribuidor				Web			
Dirección				Correo			
Teléfono				Teléfono			
SERVICIOS DE OPERACIÓN							
Electricidad	Tensión			Corriente	Frecuencia	Potencia	
Aire	Presión			Caudal			
Agua	Presión			Caudal		Temperatura	°C
Vapor	Presión			Caudal			
Gas	Presión			Caudal			
EXIGENCIA DE TRABAJO							
1. Un turno (8 horas)		2. Tres turnos		5. Intermitente			
Observaciones							

Figura 50. Tarjeta maestra de datos

9.4.5. Formato hoja de vida

Con el fin de hacer un seguimiento a las actividades que se presentan tanto de manera imprevista, rutinaria o planeada, se crea un formato de hoja de vida presentado en la figura 51, para consignar dichas actividades. Se espera con el tiempo se convierta en una herramienta fundamental para tomar decisiones respecto al mantenimiento que pueden afectar de forma directa el tiempo de vida útil de las máquinas presentes en el área de extrusión.

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		HOJA DE VIDA Plan de mantenimiento preventivo		Página. 1
Hoja de vida No	Tarjeta Maestra No	Nombre del equipo		Código del equipo
Marca	Módulo	Ubicación		Fecha de puesta en marcha
HISTORIAL DE REPARACIONES				
Fecha (dd-mm-aa)	Orden de trabajo N°	Descripción	Reparación	Costo (COP)

Figura 51. Formato hoja de vida

9.4.6. Maestro de actividades

Se establece en la figura 52 el maestro de actividades, una relación de requerimientos que permitirá caracterizar en diferentes grupos las distintas medidas de intervención en el área de extrusión según el tipo de actividad y asignando el respectivo código alfanumérico, siendo estas: Lubricación (L), Instrumentación (I), Mecánica (M), Electricidad (E).

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	CÓDIGO
Inspección, comprobación de reductores y verificación de engranajes	M01
Cambio de mallas	M02
Inspección, ajuste, cambio de bandas de transmisión, poleas	M03
Inspección, mantenimiento, cambio de rodillos	M04
Inspección, cambio de rodamientos	M05
Inspección, cambio filtro de aire	M06
Inspección de tuberías y mangueras del sistema de aire comprimido	M07
Inspección, limpieza de tornillo sin fin	M08
Inspección, comprobación, cambio de resistencias	M09
Limpieza de turbina	M10
Inspección, ajuste, cambio de conexiones eléctricas	E01
Inspección de tensión, corriente	E02
Inspección de selectores, validadores de frecuencia y sensores	E03
Inspección de arrancadores y controladores	E04
Inspección de motores eléctricos	E05
Inspección, cambio de transformadores, tratadores	E06
Revisión de cables y acometidas	E07
Inspección, cambio de termocuplas	I01
Inspección, calibración, cambio de voltímetros, amperímetros, controladores de temperatura	I02
Cambio de aceite	L01
Comprobación y lubricación de rodamientos	L02
Comprobación de aceite y existencia de fugas	L03

Figura 52. Maestro de actividades

9.4.7. Instructivo de mantenimiento

La finalidad del instructivo es sistematizar las actividades de mantenimiento según sea el requisito: lubricación, electricidad, mecánica o instrumentación en un número de pasos y en el que, a través de una orden de trabajo, tanto el personal de mantenimiento como el operario, puedan acceder a este para realizar el determinado ejercicio de mantenimiento. En el instructivo se encuentran los materiales necesarios, línea de pasos para realizar la actividad, tiempo de ejecución, fecha, hora y un espacio para observaciones.

El direccionamiento y control de cada una de las órdenes de trabajo viene dada por el jefe de mantenimiento, éstas nacen de un análisis previo y se mandan a ejecutar según el requerimiento o plan de mantenimiento para determinada área y máquina. El

personal que vaya a cumplir con la orden asignada debe llenar el formato y realizar una observación si es el caso, esto servirá para que haya retroalimentación y consecuente a esto, se mejore el plan de mantenimiento.

En la figura 53, se presenta el ejemplo del formato diseñado. Los instructivos correspondientes al área de extrusión se encuentran en el anexo 3.

La línea de extrusión se encuentra conformada por seis (6) máquinas extrusoras, de las cuales solo cuatro (4) se encuentran disponibles; para su uso cada una de estas cumple con el rol para el que fue diseñada. Para lograr establecer las posibles falencias que se puedan presentar, se hace uso de herramientas como lluvia de ideas con los operarios y el mismo personal de mantenimiento, además de consultas en internet material que puedan proporcionar algún tipo de información con el fin de ampliar el panorama de fallas, a razón de que algunas pueden no haberse presentado a la fecha. Cabe resaltar que durante las diferentes visitas realizadas a la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S se solicitó al personal administrativo y al mismo gerente los manuales de los equipos, pero estos nunca fueron prestados.

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO	Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
Instructivo:	N°	Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio	Hora de finalización
Código del equipo	Código de actividad	Actividad
Personal encargado de la actividad de mantenimiento		
Operador	Nombre	
Jefe de mantenimiento		
Operario		
Contratista		
Equipo y materiales necesarios		
Procedimiento		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Tiempo estimado de ejecución		
Observaciones		

Figura 53. Instructivo de mantenimiento

9.4.8. Orden de trabajo

Las órdenes de trabajo tienen relación directa con la programación y ejecución del plan de mantenimiento, estas se desarrollan de forma programada o de forma imprevista en el caso de que se presente una falla correctiva. El jefe de mantenimiento, el área administrativa o el gerente, pueden solicitar la ejecución de una orden de trabajo. Ningún trabajo de mantenimiento ha de realizarse sin aprobación de su respectiva orden (figura 54).

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		ORDEN DE TRABAJO		Versión: 01	
				Página 1 de 1	
Orden de trabajo N° _____			Código del equipo : _____		
Fecha de inicio: (día/mes/año)(Hora) _____			Fecha de finalización:(día/mes/año) (Hora) _____		
Solicitada por: _____			Máquina/equipo/parte: _____		
TIPO DE MANTENIMIENTO: PREVENTIVO () CORRECTIVO ()					
Descripción del trabajo:					
MANO DE OBRA: CONTRATISTA() DIRECTA()					
Realizado por:		Tiempo	Costo		Salario
Comentarios:					
Firma contratista:					
Firma jefe de mantenimiento:					

Figura 54. Orden de trabajo

9.4.9. Cronograma de actividades

En el cronograma de actividades se consignan las actividades de mantenimiento requeridas para los equipos en un periodo de 52 semanas (1 año). A cada actividad se le asignó un código para facilitar su ejecución. Con la aplicación del cronograma, se espera que los equipos tengan mayor disponibilidad y reducir las paradas imprevistas en el área de extrusión (figura 55). Los cronogramas con las actividades de mantenimiento se encuentran en el anexo 4. Las actividades de mantenimiento diarias se marcaron con una “x” de color rojo.

INDUSTRIAS PLASTICAS DE CÚCUTA S.A.S		CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																								Página 1 de 1	
		Versión 01																									
Actividades	Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Actividades	Semana	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52

Figura 55. Cronograma de actividades

Conclusiones

A través de un seguimiento al funcionamiento del área de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S se determinó que las grandes pérdidas en el proceso de extrusión tienen su origen en la materia prima usada por la empresa, dado al uso excesivo de material reciclado, el cual además no tiene un correcto proceso de limpieza y tratamiento lo que hace que aumenten los tiempos de producción a razón de la difícil manejabilidad del producto. Además, se demostró que el material sufre de degradación debido a las mismas condiciones de almacenamiento, su uso anterior y la exposición a rayos ultravioleta. Se presentaron opciones que llevarán a la empresa a reducir el desperdicio y a lograr un producto de mayor calidad.

También se demostró que a falta de un plan de mantenimiento se incurre en prácticas que suponen afectaciones a las máquinas extrusoras como pasa con los rodillos, por tal motivo se realizó un plan de mantenimiento preventivo que junto con las actividades de mantenimiento mejorarán las condiciones de la máquina alargando la vida útil las mismas. Por último, se identificaron los posibles riesgos a los que está expuesto el personal presente en el área de extrusión y por medio de la aplicación de la matriz de riesgos se sugirieron medidas para minorizar los riesgos.

Recomendaciones

Con el fin de obtener un producto de mejor calidad, se recomienda elaborar un plan en el área administrativa que permita ir aminorando el uso de material reciclado por material original o bien, establecer un plan que permita la compra de equipos para llevar a cabo un proceso real de limpieza y reciclaje, esto constituye un beneficio tanto para la calidad del producto, como para el cuidado de sus máquinas y el ahorro de energía.

Para el buen funcionamiento de las máquinas, todos los componentes, tanto mecánicos y electrónicos deben estar en buen estado, por tal motivo, se recomienda implementar el plan de mantenimiento que se ha diseñado de manera singular para el área de extrusión de la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S., el cual asegura mayor disponibilidad de los equipos. De esta forma, también se recomienda capacitar a los operarios con un curso de mecánica básica para que conozcan la importancia que tiene cada uno de los elementos mecánicos de las máquinas extrusoras y así generar conciencia sobre la importancia del mantenimiento. Por último, se recomienda realizar capacitaciones semestrales para que los operarios repasen cómo llenar correctamente los formatos como el de las hojas de vida, así el feedback permitirá determinar las operaciones necesarias para cada una de las máquinas y comprobar que los tiempos de ejecución son los establecidos o bien hacer corrección de los mismos.

En el área de seguridad industrial se recomienda a la empresa Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S. implementar las capacitaciones sugeridas en el plan de acción a las medidas de control, de esta forma se logrará disminuir el porcentaje de exposición a los riesgos. También se recomienda hacer compra de la dotación necesaria para operar de manera segura las máquinas y capacitar a los empleados sobre el uso de estas y el por qué no hacer uso de la dotación de seguridad representa un riesgo para ellos y cómo la empresa se puede ver afectada en dicho caso.

Bibliografía

- [ECIJG]. (2007). *Plásticos protocolo, curso de procesos de manufactura*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación, Introducción a la metodología científica*. 6ta edición. Episteme .
- Barajas, L. (1995). *Plan y manual integral de mantenimiento preventivo para una máquina extrusora* . Santiago de Cali : Corporación universitaria de occidente .
- Barbosa, J. (2017). *Diseño de una máquina extrusora de plástico para los productores de maguera de Ocaña*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Beltrán, M., & Marcilla, G. (2011). *Tema 4. Extrusión. Tecnología de los polímeros*. Alicante : Universidad de Alicante. Departamento de Ingeniería Química.
- Bernal, S., & Niño, D. (2018). *Módulo multicriterio aplicado a la toma de decisiones representables en diagramas de Ishikawa*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Castillo, L. (2019). *El modelo Deming (PHVA) como estrategia competitiva para realzar el potencial administrativo*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada .
- Cordova, M., & Jorge, S. (2016). *Diseño de un sistema de mezclado para la producción de suelo con estabilizador de cemento*. Guayaquil: Escuela superior técnica de litoral .
- Elio, R., Hernandez, Y., & Labañino, J. (2016). Sistema de mantenimiento para la línea de extrusión de polietileno de alta densidad (PEAD) en Holplast (Bachelor's thesis, Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica). *Conferencia científica internacional, octava edición*.

Escobar, D., Andrés, G., & Rodríguez, N. (2015). *Diseño e implementación de un scada para una máquina extrusora de plástico*. Pereira : Universidad tecnológica de Pereira.

Espin, P. (2015). *Propuesta de una mejora para corregir las deficiencias en el área de extrusión durante el proceso de producción de findas de polietileno en la empresa MIGPLAS S.A.* Guayaquil: Universidad de Guayaquil, facultad de ingeniería industrial .

Faber, F. (2009). *Plan de negocios para la adquisición de una planta móvil autónoma para la recuperación de polietileno de alta densidad (PEAD) para SAB MILLER-BAVARIA*. Cúcuta: Pontificia Universidad Javeriana.

Henandez, S., Fernandez, C., & Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. 6ta ed. Ciudad de Mexico: McGraw Hills.

ISO TOOLS. (s.f.). Obtenido de <https://www.isotools.org/>

Jerez, C. (2005). *Propuesta de diseño de un manual de soluciones a los problemas de la extrusión de la película de polietileno de alta y baja densidad*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales. (2010). Fondo editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador .

Medina, A. (2006). *Análisis de las causas del desperdicio originado de hilatura y formulación de las recomendaciones en Industrias Ket y Sorrento S.A.* Santiago de Cali: Universidad autónoma de occidente .

Nueva ISO 45001. (s.f.). Obtenido de www.nueva-iso-45001.com/2016/01/que-es-la-iso-45001/

- Peña, W., & Mendoza, G. (2009). *Plan de reducción de desperdicio de materia prima para mejorar la productividad de una empresa fabricante de revestimientos*. Baquisimeto : Latin American and Caribbean Conference for Engineering and technogy (LACCEI).
- Ramos, L. F. (1993). *Extrusión De Plásticos, Principios Básicos*. Limusa.
- Sales, M. (2009). *Diagrama de Pareto*. Madrid: EALDE Busness School.
- Sanzol, L. (2010). *Implantación de plan de mantenimiento tpm en una plata de cogeneración*. Pamplona: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
- Tapía, M. (2011). *Diseño de plan de mantenimiento predictivo para la línea de producción extrusión - bolsas plásticas en la empresa Kalusin Importing Company (KIKO S.A)*. Cartagena de Indias: Uiversidad tecnológica de Bolivar.
- Vasquez, A. (2005). *Control estadístico del proceso de extrusión de polietilenos del valle*. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Vera, H. (2011). *Aplicación de la metodología análisis causa raíz, para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la som-ecopetrol S.A*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander .

Anexos

Anexo 1. Matriz GTC 45 Industrias Plásticas de Cúcuta S.A.S.

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1vZjkLCpkKTLVW4yiAViL7qVUXfWMHF2W/edit?usp=sharing&oid=114243123329935793457&rtpof=true&sd=true>

Anexo 2. Tarjeta maestra de datos máquinas extrusoras

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		TARJETA MAESTRA DE DATOS			Versión: 01				
					Página 1 de 1				
DATOS GENERALES									
Máquina / equipo: Extrusora de film de plástico				Código	EX-01-02-03-04				
Marca: Ruian mingde machinery				Peso: 1300 kg	Tipo Mecánica, eléctrica, electrónica				
Dimensiones	Alto: 4.2 m		Diámetro de tornillo: 45 mm						
	Ancho: 2.5		Espesor de película de una cara: 0.006 - 0.10 mm						
	Largo: 2.3 m		Motor principal: 20 hp						
Otros datos	Velocidad del tornillo sin fin: 10 - 100 r/min Material aplicable: PEAD, PEBD, PELBD, Etilvinilacetato Proporción del tornillo sin fin: L/P28:1								
Accionamiento				Conexión		Trifásico			
Capacidad de trabajo: 40 Kg/h									
DATOS DEL DISTRIBUIDOR									
Distribuidor		Titanium soluciones plásticas		Web		https://titaniumplasticmachinery.com/			
Dirección		Cra 54 A 29 C 64 Medellín, Antioquia		Correo		gerencia@plasticosysoluciones.com			
Teléfono		300 615 76 54		Teléfono		(57)(4) 479 8464			
SERVICIOS DE OPERACIÓN									
Electricidad	X	Tensión	220V	Corriente	45.5 A	Frecuencia	60 Hz	Potencia	
Aire	X	Presión		Caudal					
Agua		Presión		Caudal			Temperatura		°C
Vapor		Presión		Caudal					
Gas		Presión		Caudal					
EXIGENCIA DE TRABAJO									
1. Un turno (12 horas)		X	2. Dos turnos (24h)		X	5. Intermitente		X	
Observaciones		Las máquinas operan según disponibilidad de material.							

Anexo 3. Instructivos de mantenimiento máquinas extrusoras

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
Instructivo: ANUAL	N° 01		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo	Código de actividad	Actividad	
EX-01-02-03-04-TR01	M01	Inspección reductores de velocidad, caja de engranajes	
Personal encargado de la actividad de mantenimiento			
Operador		Nombre	
Jefe de mantenimiento	X		
Operario			
Contratista			
Equipo y materiales necesarios			
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)			
→ Valvulina			
Procedimiento			
1. Verificar que la máquina esté parada o apagada			
2. Retirar guardas			
3. Revisar nivel de lubricante			
4. Comprobar viscosidad de lubricante			
5. Revisar los sellos hidráulicos			
6. Asegurarse de que no se presente un ruido anormal			
7. Revisar estado de los sellos hidráulicos			
8. Colocar guardas			
9. Revisar estado de las coronas y piñones de ataque			
10. Vuelva a energizar la máquina			
Tiempo estimado de ejecución		15 minutos	
Observaciones			

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO	Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
Instructivo: DIARIO	N° 02	Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio	Hora de finalización
Código del equipo	Código de actividad	Actividad
EX-01-02-03-04-CM01	M02	Cambio de mallas
Personal encargado de la actividad de mantenimiento		
Operador	Nombre	
Jefe de mantenimiento		
Operario	X	
Contratista		
Equipo y materiales necesarios		
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)		
→ Llave de 12 mm		
Procedimiento		
1. Verificar que la máquina esté parada o apagada		
2. desajustar tornillos de brida		
3. Prender motor para que expulse la brida		
4. Retirar malla		
5. Limpiar brida portamalla		
6. Colocar malla nueva		
7. Ajustar la brida nuevamente		
8. Energizar la máquina		
Tiempo estimado de ejecución	10 minutos	
Observaciones		

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO	Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
Instructivo: Anual	N° 03	Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio	Hora de finalización
Código del equipo	Código de actividad	Actividad
EX-01-02-03-04-TR01	M03	Inspección, ajuste, cambio de bandas de transmisión o poleas
Personal encargado de la actividad de mantenimiento		
Operador	Nombre	
Jefe de mantenimiento	X	
Operario		
Contratista		
Equipo y materiales necesarios		
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)		
Procedimiento		
INSPECCIÓN, AJUSTE, CAMBIO DE BANDAS		
1. Verificar que la máquina esté parada o apagada		
2. Retirar guardas		
3. Revisar tensión de la banda manualmente		
4. Si el motor permite, ajustar, tensionar banda, de lo contrario, cambiar		
INSPECCIÓN, AJUSTE, CAMBIO DE POLEAS		
1. Verificar que la máquina esté parada o apagada		
2. Retirar guardas		
3. Ajuste de eje principal y cuñero		
4. Revisión de ángulo de trabajo de la canal de la polea		
Tiempo estimado de ejecución	20 minutos	
Observaciones		

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
Instructivo: Anual	N° 04		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo	Código de actividad	Actividad	
EX-01-02-03-04-RJ01	M04	Inspección, mantenimiento, cambio de rodillos	
Personal encargado de la actividad de mantenimiento			
Operador		Nombre	
Jefe de mantenimiento	X		
Operario			
Contratista	X		
Equipo y materiales necesarios			
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)			
Procedimiento			
1. Comprobar grado de paralelidad del rodillo a través de inspección visual (que no se presenten desgastes)			
2. Revisar chumaceras laterales			
3. Revisión de ajuste de ejes			
4. Si se presenta desgaste llamar a contratista para rectificar rodillo			
Tiempo estimado de ejecución		1h - 2h	
Observaciones			

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO	Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
Instructivo: Anual o 5000 horas	N° 05	Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio	Hora de finalización
Código del equipo	Código de actividad	Actividad
EX-01-02-03-04-SP01	M05	Inspección, cambio de rodamientos
Personal encargado de la actividad de mantenimiento		
Operador	Nombre	
Jefe de mantenimiento	X	
Operario		
Contratista		
Equipo y materiales necesarios		
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)		
→ Prensa hidráulica o extractor		
Procedimiento		
→ Verificar que la máquina esté parada o apagada		
RODILLOS		
1. Liberar tensión de tornillos prisioneros		
2. Llevar a prensa hidráulica o extractor		
3. Retirar el rodamiento y colocar los nuevos		
CAJA DE TRANSMISIÓN		
1. Retirar guardas		
2. Destensionar y retirar bandas de transmisión		
3. Retirar polea principal con su respectiva		
4. Drenar el lubricante		
5. Retirar la caja reductora a mesa de trabajo		
6. Liberar tapa superior de caja		
7. Retirar tapas laterales de caja		
8. Sacar grupo de corona y piñones de caja reductora		
9. Llevar a prensa hidráulica o usar extractor para retirar rodamientos.		
10. Con la prensa colocar rodamientos nuevos		
11. Volver a incrustar en caja		
11. Volver a incrustar en caja		
12. Insertar grupo de corona y piñones de caja reductora		
13. Colocar tapas laterales y superior		
14. Colocar caja en máquina		
15. Llenar de lubricante		
16. Colocar polea		
17. Tensionar banda		
18. Colocar guardas		
MOTORES ELÉCTRICOS		
1. Retirar polea del motor con su respectiva cuña		
2. Llevar el motor al banco de trabajo		
3. Retirar guardas del motor		
4. Retirar las dos tapas frontal y trasera del motor		
5. Sacar inducido del motor		
6. Con la ayuda de extractor o prensa hidráulica retirar rodamientos		
7. Colocar rodamientos nuevos		
8. Colocar inducido en el motor		
9. Colocar las tapas frontal y trasera del motor		
8. Colocar guardas		
9. Llevar motor a máquina		
10. Colocar polea		
11. Tensionar bandas		
Tiempo estimado de ejecución	30 minutos /2 horas / 2 horas	
Observaciones		

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: Semestral			N° 08		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-TF01			M08		Inspección, limpieza de tornillo sin fin
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista			X		
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
Procedimiento					
1. Apagar motor principal					
2. Retirar tolva de alimentación					
3. Retirar brida portamalla					
4. Extraer tornillo de la cuña de ajuste y tornillo de la caja reductora					
5. Retirar tornillo sin fin de tunel					
6. Limpieza de tornillo sin fin					
7. Revisar ángulo y aristas del tornillo					
8. Si se encuentran en buen estado colocar tornillo sin fin en tunel					
9. Si se encuentran caído, rectificar ajuste de ángulo y altura de aristas					
10. Coloca tornillo sin fin en tunel					
11. Colocar tornillo en caja reductora y colocar tornillo en la cuña de ajuste					
12. Colocar brida portamalla					
13. Colocar tolva de alimentación					
14. Prender motor principal					
Tiempo estimado de ejecución			2 horas		
Observaciones					
INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: ANUAL			N° 09		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-BR01			M09		Inspección, comprobación, cambio de resistencias
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→ Amperímetro					
Procedimiento					
1. Apagar grupo resistivo					
2. Retirar guardas cubierta de tornillo					
3. Comprobar conexiones del cableado de resistencias					
4. Comprobar consumo individual de cada resistencia (tomas deben marcar lo mismo)					
5. Si se encuentra en buen estado, ajustar cableado y colocar guardas de cubierta de tornillo					
6. Si se encuentra en mal estado, cambiar la resistencia, ajustar cableado y colocar guardas cubierta de tornillo					
Tiempo estimado de ejecución			10 minutos		
Observaciones					

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO	Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
Instructivo: SEMANAL	N° 10	Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio	Hora de finalización
Código del equipo	Código de actividad	Actividad
EX-01-02-03-04-TU01	M10	Limpieza de turbina
Personal encargado de la actividad de mantenimiento		
Operador	Nombre	
Jefe de mantenimiento	X	
Operario		
Contratista		
Equipo y materiales necesarios		
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)		
→		
Procedimiento		
1. Apagar máquina		
2. retirar angueras de ventilación		
3. Abrir escotilla de alimentación de aire		
4. Sopletear rejilla de escotilla de admisión de turbina		
5. Colocar escotilla de alimentación de aire		
6. Colocar mangueras de ventilación		
7. Energizar máquina		
Tiempo estimado de ejecución	10 minutos	
Observaciones		

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO	Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
Instructivo: Mensual	N° 11	Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio	Hora de finalización
Código del equipo	Código de actividad	Actividad
EX-01-02-03-04-SE01	E01	Inspección, cambio, ajuste de conexiones eléctricas
Personal encargado de la actividad de mantenimiento		
Operador	Nombre	
Jefe de mantenimiento	X	
Operario		
Contratista		
Equipo y materiales necesarios		
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)		
Procedimiento		
1. A través de inspección visual revisar el correcto estado de las conexiones eléctricas.		
2. Si existe algún deterioro como cambio de color o olor a quemado bajar breaker y cambiar conexión.		
Tiempo estimado de ejecución	15 minutos	
Observaciones		

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: DIARIA			N° 12		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-SE01			E02		Inspección de tensión de corriente
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→ Pinza amperimétrica					
Procedimiento					
1. Abir puerta de tablero de control					
2. Identificar el breaker principal					
3. Con la pinza amperimétrica medir la tensión de alimentación del circuito y el consumo general de equipos					
Tiempo estimado de ejecución			5 minutos		
Observaciones					

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: SEMANAL			N° 13		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-TC01			E03		Inspección de selectores, variadores de frecuencia y sensores
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→					
Procedimiento					
1. Colocar el variador en posición <reset>					
Tiempo estimado de ejecución			30 minutos		
Observaciones					

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: SEMANAL			N° 14		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-TC01			E04		Inspección de arrancadores y controladores
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→					
Procedimiento					
1. Comprobar que estén dando la temperatura que se establece					
2. Comprobar que no haya un desfase entre temperatura y termocuplas					
3. Si se encuentra un desfase revisar termocuplas, conexiones o parámetro disparado a causado por un cambio en la tensión					
Tiempo estimado de ejecución			30 minutos		
Observaciones					
INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: SEMANAL			N° 15		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-TC-01			E05		Inspección de motores eléctricos
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→					
Procedimiento					
1. Revisar parámetros en el variador a través de inspección visual					
2. En caso de que suene la alarma, revisar que no haya un sobreclentamiento, exceso de velocidad, cambio en la frecuencia o variación en el torque					
3. Ajustar los parámetros alterados manualmente en el variador					
Nota: Los variadores vienen con unos parámetros programados de acuerdo con la placa del motor, si este en algún momento falla o cambia, el variador lo detecta y manda una señal de alarma					
Tiempo estimado de ejecución			40 minutos		
Observaciones					

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: -			N° 16		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-SE-01			E06		Inspección, cambio de transformadores, tratadores
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→					
Procedimiento					
1. Revisar que esté produciendo chispa.					
2. Si no está produciendo chispa se puede deber a una falla en el transformador, falla en el conexionado del transformador a la caja de rodillos que inyecta el arco eléctrico, que se haya apagado el transformador por una conexión, que se haya disparado una protección del tablero al transformador o que se haya presentado algún corto.					
Tiempo estimado de ejecución			40 minutos		
Observaciones					

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: Mensual			N° 17		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-SE-01			E07		Revisión de cables y acometidas
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→					
Procedimiento					
1. Revisar que las conexiones estén buenas condiciones					
2. Revisar que las terminales no estén sulfatadas					
3. Revisar que los cables no estén duros o presenten resistencia eléctrica					
4. Revisar que los cables no presenten un cambio de color (verdoso), que se estaría presentando un sobre calentamiento que se traduce en exceso de consumo de energía					
Tiempo estimado de ejecución			10 minutos		
Observaciones					

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: ANUAL			N° 18		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-SE-01			I01		Inspección, cambio de termocoplas
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→					
Procedimiento					
1. Si el pirómetro empieza a presentar anomalías o la máquina molesta en temperaturas o no sensa la temperatura establecida, se debe cambiar la termocopla					
Tiempo estimado de ejecución			10 minutos		
Observaciones					

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S		INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
Instructivo: CORRECTIVO			N° 19		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)			Hora de inicio		Hora de finalización
Código del equipo			Código de actividad		Actividad
EX-01-02-03-04-TC-01			I02		Inspección, calibración, cambio de voltímetros, amperímetros, controladores de temperatura (PIRÓMETROS)
Personal encargado de la actividad de mantenimiento					
Operador			Nombre		
Jefe de mantenimiento			X		
Operario					
Contratista					
Equipo y materiales necesarios					
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)					
→					
Procedimiento					
1. El amperímetro se inspecciona de manera visual, si este no consume energía puede deberse a que una resistencia se dañó, razón por la cual no deflecta o porque se dañó competamente el amperímetro, entonces la corriente está pasando pero está marcando el consumo.					
Tiempo estimado de ejecución			30 minutos		
Observaciones					

INDUSTRIAS PLÁSTICAS DE CÚCUTA S.A.S	INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO		Versión: 01
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
Instructivo: ANUAL	N° 20		Páginas 1 de 1
Fecha de ejecución (dd/mm/aa)	Hora de inicio	Hora de finalización	
Código del equipo	Código de actividad	Actividad	
EX-01-02-03-04	L02	Comprobación y lubricación de rodamientos	
Personal encargado de la actividad de mantenimiento			
Operador		Nombre	
Jefe de mantenimiento	X		
Operario			
Contratista			
Equipo y materiales necesarios			
→ Elementos de protección personal (guantes, gafas, protector de oídos, tapabocas)			
→			
Procedimiento			
1. Lubricación de chumaceras			
2. Lubricación de rodamientos			
3. Lubricación de tornillo sin fin de subir o bajar torre			
4. Lubricación de rodamientos de cojinete			
5. Lubricación de los husillos			
Tiempo estimado de ejecución		15 minutos	
Observaciones			

