



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

**MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE POLIETILENO Y
POLIPROPILENO EN UNA EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS
POSTCONSUMO**

Katerin Suceth Flores Estrada

Asesorado por el Ing. Rolando Ulisses Escobar Aceituno

Guatemala, septiembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE POLIETILENO Y
POLIPROPILENO EN UNA EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS
POSTCONSUMO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KATERIN SUCETH FLORES ESTRADA

ASESORADO POR EL ING. ROLANDO ULISSES ESCOBAR ACEITUNO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Alvarado De León
EXAMINADOR	Ing. Víctor Hugo García Roque
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO EN UNA EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS POSTCONSUMO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha noviembre de 2019.

Katerin Suceth Flores Estrada

Guatemala 05 de abril del 2022

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero, por este medio informo que apruebo la tesis: **MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO EN UNA EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS POST CONSUMO**. De la alumna Katerin Suceth Flores Estrada, con carnet No. 201602611, de la carrera de Ingeniería Industrial.

Atentamente:

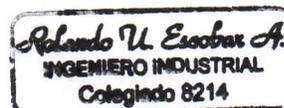
Rolando Escobar



Ingeniero Industrial

No. Colegiado 8214

Asesor





ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.044.022

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO EN UNA EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS POST CONSUMO**, presentado por la estudiante universitaria **Katerin Suceth Flores Estrada**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Inga. Brenda Izabel Miranda Consuegra
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

*Brenda Izabel Miranda Consuegra
Ingeniera Industrial
Colegiado 13,675*

Guatemala, junio de 2022.

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LNG.DIRECTOR.184.EMI.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO EN UNA EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS POSTCONSUMO**, presentado por: **Katerin Suceth Flores Estrada**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Firmada digitalmente por Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Motivo: Ingeniero Industrial
Ubicación: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, USAC
Colegiado 4,272
Periodo: septiembre a noviembre año 2022

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2022.

LNG.DECANATO.OI.639.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO EN UNA EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN DE POLÍMEROS POSTCONSUMO**, presentado por: **Katerin Suceth Flores Estrada**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, octubre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiarme y acompañarme durante este proceso. Enseñándome que todo en la vida es posible a través de esfuerzo, dedicación y fe en él.
- Mi abuela** Adilia Chapetón, por darme el amor más puro e incondicional que existe. Gracias por siempre estar orgullosa de mí, eres un ejemplo de fortaleza y sabiduría.
- Mi madre** Zuly Estrada, por confiar siempre en mis capacidades y no dudar en ningún momento que alcanzaría esta meta. Gracias mamá por tu amor, dedicación y esfuerzo.
- Mis tíos** Ileana, Mynor y Aldo Estrada. Por todo el apoyo brindado, no solo a lo largo de mi carrera, sino a lo largo de toda mi vida. Gracias por amarme y cuidarme como a una hija. Son los mejores tíos que existen.
- Mi familia** Por siempre hacerme feliz, gracias por mostrarme todo lo bello de la vida y darme las herramientas necesarias, para salir adelante construyendo un futuro sólido.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como académicas.

Facultad de Ingeniería

Por todos los conocimientos compartidos y permitir que sea miembro de la comunidad de ingenieros.

Mis amigos

Por esa hermosa amistad y todo el apoyo ofrecido. Gracias por haber contribuido a que esta etapa en mi vida este llena de buenos recuerdos.

Mi novio

Por todo el cariño y motivación ofrecida a lo largo de este proyecto, gracias por siempre alegrarte en cada uno de mis logros.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE.....	1
1.1. Los polímeros.....	1
1.1.1. Definición de polietileno de baja densidad.....	2
1.1.2. Definición de polipropileno.....	2
1.1.3. Obtención del polietileno y polipropileno.....	3
1.2. Características del polietileno.....	4
1.2.1. Relación de propiedades vs fluidez.....	5
1.2.2. Relación de propiedades vs densidad.....	6
1.3. Reciclaje.....	7
1.3.1. Concepto de reciclaje e identificación de los polímeros.....	7
1.3.2. Impacto del reciclaje en el medio ambiente.....	9
1.4. Proceso del reciclaje.....	10
1.5. Línea de lavado de película o funda PEBD y PP.....	11
1.6. Maquinarias de peletizado.....	13
1.6.1. Peletizadora corte en caliente.....	13
1.6.2. Peletizadora corte en frío.....	14

1.7.	Aplicación de control de calidad en los productos reciclados..	15
1.8.	Controles industriales utilizados en la industria del reciclaje ...	17
1.8.1.	Control estadístico	18
1.8.1.1.	Variabilidad	19
1.8.1.2.	Error tipo I y Error tipo II.....	20
1.8.2.	Gráficos de control	20
1.8.3.	Gráficos de control por variables	21
1.8.4.	Gráficos de control por atributos.....	22
1.8.5.	Gráfico X-R	23
1.8.6.	Gráfico I-MR.....	23
2.	ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL PP Y PEBD	25
2.1.	Producto final elaborado por el cliente.....	25
2.2.	Necesidades y requisitos del cliente	25
2.3.	Proceso de recepción y entrega en la planta.....	26
2.3.1.	Recepción de materia prima PEDB y PP post consumo.....	26
2.3.2.	Almacenaje	27
2.3.3.	Entrega al departamento de Producción.....	28
2.3.4.	Entrega de PT a bodega	29
2.4.	Diagrama de flujo	30
2.5.	Producto terminado.....	32
2.6.	Proceso de limpieza en línea de lavado (etapa 1).....	32
2.6.1.	Lavado	32
2.6.2.	Secado	33
2.6.3.	Recolección de datos en la línea de lavado.....	33
2.6.3.1.	Obstrucción en la tina de lavado.....	33
2.6.3.2.	Deshidratador	33
2.6.3.3.	Calentador	34

2.7.	Proceso de peletizado (etapa 2)	34
2.7.1.	Color	34
2.7.2.	Transformación y peletizado	35
2.7.3.	Recolección de datos	35
2.7.3.1.	Temperatura inadecuada en las zonas.....	35
2.7.3.2.	Obstrucción del desgasificador	36
2.7.3.3.	Peletizado libre de impurezas	36
2.7.3.4.	Filtros sucios	36
2.7.3.5.	Ruptura del hilo en la tina de enfriamiento	37
2.7.3.6.	Humedad interna y externa del pellet ..	38
2.7.3.7.	Partículas finas y colas en los pellets ..	39
2.8.	Herramientas para la solución e identificación de problemas ..	39
2.8.1.	Diagrama de Pareto	39
2.8.2.	Diagrama de Ishikawa.....	41
2.8.3.	Estado del filamento de PP y PEBD	42
2.8.4.	Tipo de error en el proceso	44
3.	MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL PROCESO PRODUCTIVO	47
3.1.	Modelo de gestión de calidad.....	47
3.2.	Elaboración de los gráficos de control (actual)	50
3.2.1.	Línea de peletizado	51
3.2.1.1.	Característica de estudio	51
3.2.1.2.	Registro y tabulación de los datos	51
3.2.1.3.	Cálculo de límites de control	53
3.2.1.4.	Interpretación del grafico I-MR.....	53
3.3.	Eliminación de causas especiales.....	54

3.3.1.	Diseño de la tina de enfriamiento en la línea de peletizado.....	55
3.4.	Elaboración de los gráficos de control (mejorado).....	56
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO.....	59
4.1.	Autorización del modelo por parte de gerencia.....	59
4.2.	Costo de calidad total.....	60
4.3.	Seguimiento del sistema de gestión de calidad en el proceso productivo.....	61
4.3.1.	Plan de capacitación y asignación de responsabilidades al personal.....	61
4.3.1.1.	Gerente de Producción	62
4.3.1.2.	Jefe de Sección de Producción	62
4.3.1.3.	Operario en línea de peletizado.....	63
4.4.	Documentación del modelo de gestión de calidad.....	63
4.4.1.	Plantilla de documentación	63
4.5.	Cronograma de trabajo para la implementación del modelo ...	65
5.	CICLO DE MEJORA CONTINUA PDCA APLICADO AL MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD	67
5.1.	Planificar	67
5.1.1.	Actividades asignadas a la mejora continua.....	67
5.2.	Hacer.....	68
5.2.1.	Propuesta de mejora en la producción de peletizado.....	69
5.2.2.	Evaluación simultánea con la propuesta.....	69
5.3.	Verificar	70
5.3.1.	Índice de inestabilidad.....	70

5.3.2.	Efectividad de la propuesta	70
5.4.	Actuar	71
5.4.1.	Estandarizar el nuevo proceso	71
5.4.2.	Renovar el ciclo de mejora continua en el proceso productivo de pellet	72
CONCLUSIONES		73
RECOMENDACIONES		75
BIBLIOGRAFÍA		77
APÉNDICES		81
ANEXOS		87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Obtención del polietileno.....	3
2.	Obtención del polipropileno.....	4
3.	Extrusora de plástico.....	11
4.	Línea de molido, lavado y secado de plástico	12
5.	Partes de máquina peletizadora corte en caliente	14
6.	Partes de máquina peletizadora corte en frío	15
7.	Representación de un gráfico de control	23
8.	Pasos para la recepción de PEDB Y PP.....	27
9.	Pasos para la entrega a producción	28
10.	Pasos para la entrega de PT a bodega	29
11.	Diagrama de flujo para la elaboración de pellet.....	31
12.	Poros en el pellet	38
13.	Diagrama de Pareto: defectos del peletizado	41
14.	Diagrama de Ishikawa humedad en el pellet	42
15.	Gráfica I-MR de individuales (actual).....	48
16.	Sistema de enfriamiento de los hilos extruidos.....	54
17.	Diseño de la tina de enfriamiento.....	55
18.	Gráfica I-MR de individuales (mejorado).....	56
19.	Gráfica I-MR de individuales (mejorado).....	57
20.	Plantilla de recolección de datos.....	64
21.	Cronograma de actividades	66

TABLAS

I.	Comparación entre fluidez y propiedades	6
II.	Diferencia entre polietileno de baja y alta densidad	7
III.	Código de identificación de los plásticos	8
IV.	Diferencia entre una máquina peletizadora corte en frío y corte en caliente	15
V.	Problemas en la extrusión de polietileno de baja densidad.....	17
VI.	Diferencia entre variaciones por causas comunes y variaciones especiales	19
VII.	Resistencias eléctricas	36
VIII.	Temperatura en la tina de enfriamiento	37
IX.	Recolección de datos para diagrama de Pareto.....	40
X.	Temperatura y distancia en la tina de enfriamiento	43
XI.	Temperatura en la tina de enfriamiento (actual).....	52
XII.	Condiciones ideales en la tina de enfriamiento	55
XIII.	Temperatura en la tina de enfriamiento (mejorado)	56
XIV.	Descripción del modelo de gestión de calidad	59
XV.	Costos de calidad	60
XVI.	Planificación de PDCA.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Celsius
S	Desviación estándar
/	División
gr	Gramos
\bar{x}	Media
mm	Milímetros
min	Minutos
x^i	Muestra i-ésima
n	Número de subgrupo
√	Raíz cuadrada
R	Rango
-	Resta
Rev	Revoluciones
+	Suma
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

<i>Blower</i>	Dispositivo mecánico que se utiliza en la industria como soplador de aire.
Cartas de control	Indican la estabilidad en un proceso, ya sea en la fabricación de productos o brindando un servicio.
Centrífuga	Dispositivo que se utiliza en la industria del reciclaje para eliminar el exceso de agua por medio de movimientos circulares.
Chiler Industrial	Equipo de enfriamiento utilizado para mantener constante la temperatura en algún proceso industrial.
Control estadístico	Herramienta que utiliza métodos estadísticos para la identificación de variaciones en el proceso productivo.
Extrusión	Proceso industrial al cual se pueden someter todos los polímeros, consiste en fundir el material y transportarlo, recurriendo a un tornillo de Arquímedes hacia un orificio de diámetro reducido.
Granel	Mercancía que se vende sin poseer embalaje.

Humedad	Porcentaje de vapor de agua presente en un espacio u objeto.
Límites de control	Forman parte de las cartas de control y delimitan los límites permisibles en los que un punto se puede alejar a la media.
MFI	Melt Flow Index.
PDCA	Plan, Do, Check, Act.
PEAD	Polietileno de Alta Densidad.
PEBD	Polietileno de Baja Densidad.
Peletizadora	Máquina industrial que transforma el material post consumo, en pequeños cilindros, mejor conocido como pellet.
Pellet	Polímero fundido y cortado en trozos diminutos, que se utiliza como materia prima en la elaboración de objetos plásticos.
Polímero	Conocidos también como plásticos, son materiales producidos artificialmente para diversos usos.
Post consumo	Materiales que ya fueron utilizados con anterioridad y se les está dando un segundo uso.

PP	Polipropileno.
Proceso estable	Se presenta cuando el proceso está bajo control estadístico y la variabilidad es derivada de causas comunes.
Proceso inestable	Se presenta cuando el proceso no está bajo control estadístico y la variabilidad es derivada de causas especiales.
Requisición	Documento o solicitud de abastecimiento de productos, autorizado por el departamento de Compras.
Tina de enfriamiento	Depósito de agua que tiene como objetivo enfriar los hilos de PP y PEBD, provenientes de la extrusora.
Tolva	Contenedor con forma de embudo, destinado al almacenaje de productos granulares como el pellet.

RESUMEN

En la actualidad, la demanda de pellet elaborado de polipropileno y polietileno de baja densidad, está en aumento, por ser utilizado como materia prima, para la fabricación de la mayoría de productos de consumo masivo, por sus propiedades físicas y la variedad de aplicaciones que se le da en plantas de producción. Por consiguiente, es un material versátil que puede acondicionarse conforme a las necesidades y especificaciones solicitadas por el cliente.

El PP y PEBD son transformados bajo el proceso de extrusión, el cual consta de dos líneas de producción: línea de lavado y peletizado. En estas etapas se originan los problemas más recurrentes; falta de mantenimiento preventivo en la maquinaria, manejo inadecuado del personal, inexistencia de estándares de calidad y reprocesos.

Los factores anteriormente descritos son las principales causas por las cuales el pellet está expuesto a la variabilidad del proceso productivo, la cual no se puede eliminar en su totalidad, pero si disminuirse. Este es el objetivo principal de la tesis, la creación de un modelo de gestión de calidad que proporcione un método de resolución de problemas, brindar competitividad a la empresa en el mercado de transformación de polímeros post consumo y fortalecer las negociaciones con el cliente.

La mejora continua es clave para el modelo de gestión de calidad y se describe como una filosofía a emplear dentro de la empresa. Tanto producción, área Administrativa y gerencia, deben trabajar en conjunto para lograr el plan estratégico de la organización.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un modelo de gestión de calidad en el proceso productivo de polietileno y polipropileno en una empresa de transformación de polímeros post consumo a través de controles industriales.

Específicos

1. Analizar el producto final rechazado por el cliente para detectar el error en la materia prima producida por la empresa.
2. Evaluar la primera etapa del proceso de la línea de lavado y secado del polietileno de baja densidad y polipropileno para descartar defectos en las hojuelas.
3. Realizar análisis de la segunda etapa del proceso productivo de transformación y peletizado de PEBD y PP, y así detectar imperfecciones en el producto terminado.
4. Diseñar gráficos de control I-MR, X-R y X-S que se utilizará en el modelo de gestión de calidad para el proceso productivo de los polímeros.
5. Implementar el ciclo PDCA para el modelo de gestión de calidad en el proceso productivo del pellet.

INTRODUCCIÓN

El reciclaje es una actividad importante en Guatemala, siendo parcialmente rentable. Hoy en día existen distintas compañías que se dedican a la transformación de polímeros post consumo, donde posteriormente son vendidos en forma de pellet a empresas que los procesan en producto terminado. No obstante, el material puede presentar defectos, debido a una incorrecta gestión en el proceso de calidad, y es fundamental que la industria recicladora incorpore controles industriales en todos sus procesos.

La gran mayoría de estas industrias se encuentran con un problema latente en el peletizado, el cual se origina por la presencia de humedad en el pellet. Este fallo ocasiona imperfecciones en el producto final, y el cliente pierde interés en cerrar la negociación.

El modelo de gestión de calidad se basa en la elaboración de gráficos de control que permitan establecer medidas preventivas, identificar si el proceso está fuera de control estadístico e instaurar estándares que aseguren la reducción de fallos en el proceso. De esta forma se puede realizar un diagnóstico interno de la planta de producción y acondicionar, eliminar y agregar los elementos necesarios para optimizar la fabricación de pellet.

El desarrollo de esta investigación permitirá que la empresa pueda reducir sus costos, aumentar su rentabilidad, optimizar recursos. Y sobre todo implementar la calidad total en el proceso productivo, para que el resultado final supere las expectativas del cliente, ganando así, su fidelidad a largo plazo.

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE

El punto de partida en cualquier investigación es analizar el problema y por ende se necesita de un marco de referencia que proporcione argumentos claros, sencillos y lógicos que guiaran a la estructuración del proyecto y a la culminación del mismo.

1.1. Los polímeros

Un polímero es una macromolécula que crece por la unión de moléculas bases llamadas meros, poli significa muchos, mero; parte o unidad. Un mero se deriva de un monómero que hace su conversión por medio de la aplicación de calor, presión y un catalizador. Los productos fabricados con polímeros están formados de trillones de moléculas que forman plásticos o hules. Se clasifican en:

- Por su estructura: lineal y de red
- Por su mecanismo de polimerización: por adición y por condensación
- Por su comportamiento en presencia de calor: termoplástico y termoestable.

A lo largo del proyecto se estará analizando dos polímeros: polietileno de baja densidad y el polipropileno, estos dos se encuentran en la clasificación de plásticos termoplásticos.

1.1.1. Definición de polietileno de baja densidad

Fue descubierto por accidente en 1898 por el científico Hans Von Pechmann cuando calentaba diazometano, en el proceso se formaba un polvo blanco, más adelante este residuo se conoció como polietileno, nombrado así por Eugen Bamberger y Friedrich Tschirner.

Las principales propiedades del polietileno de baja densidad es la flexibilidad, resistencia al impacto, altas temperaturas y sustancias químicas. Dependiendo de su espesor puede ser casi transparente, en su superficie no se puede imprimir, pintar o pegar. Es fácil de procesar por métodos de inyección o extrusión.

Es un polímero de fácil reciclaje, permitiendo la elaboración de diversos materiales como: bolsas plásticas, film transparente, bolsas para invernaderos, recubrimiento para cables, vasos, platos y cubiertos.

1.1.2. Definición de polipropileno

Fue sintetizado por primera vez en 1951 por los científicos J. Paul Hogan y Robert Banks, es subproducto de la refinación del petróleo, se le nombró como propileno o llamado también propeno. “Es el segundo plástico sintético con más demanda a nivel mundial (el plástico más comercializado es el polietileno) con una producción de 60 millones de toneladas anuales.”¹

Las propiedades más relevantes del polipropileno son: posee una estructura cristalina, alta resistencia mecánica, aislante eléctrico, índice de

¹ Educación en Ingeniería Química. *Breve historia del polietileno*. <https://www.ssecoconsulting.com/breve-historia-del-polietileno.html>. Consulta: 2 de noviembre de 2020.

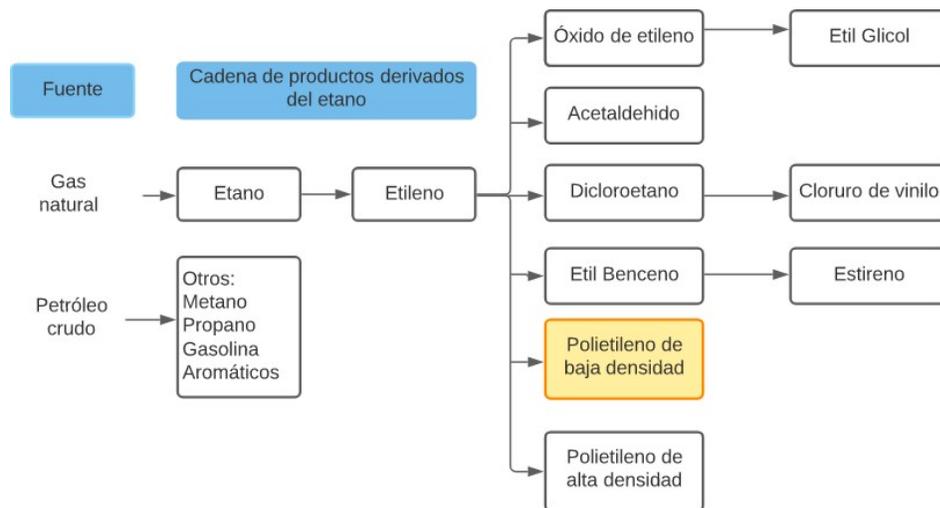
absorción de humedad bajo, punto de fusión alto, resistencia química y a la fatiga.

El polipropileno cumple la doble función de plástico y de fibra, entre sus aplicaciones se puede mencionar: la elaboración de parachoques, cajas de baterías, componentes eléctricos, embalaje de alimentos, materiales industriales y productos textiles como alfombras y cuerdas.

1.1.3. Obtención del polietileno y polipropileno

Las fuentes de recursos son el gas natural y el petróleo crudo. Derivado del gas natural se obtiene el etano, posteriormente se convierte en etileno y por medio de la polimerización de este, se obtiene el polietileno de baja densidad.

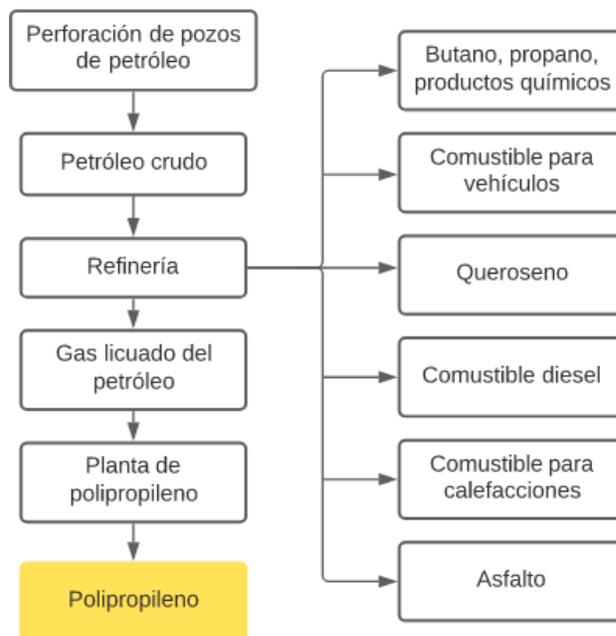
Figura 1. Obtención del polietileno



Fuente: PEMEX. *Petroquímica, polietilenos*. p. 6.

La obtención del polipropileno comienza con la perforación de pozos de petróleo, posteriormente se traslada a una refinería en donde se obtienen derivados del mismo, como el queroseno, diésel, butano y el propano.

Figura 2. **Obtención del polipropileno**



Fuente: elaboración propia, empleando Lucidchart

1.2. **Características del polietileno**

La viscosidad es la resistencia que presentan los líquidos a fluir, moverse o desplazarse. En la industria del reciclaje se estudia a profundidad esta propiedad, por ser proporcional al peso molecular de un plástico e inversamente proporcional a su temperatura.

Para determinar la resistencia al flujo, se realiza el ensayo MFI, que determina el grado de viscosidad de un plástico. Es útil para asegurar que el material posee un correcto peso molecular y la producción sea la esperada.

De acuerdo con el ing. Marco Zavaleta, en su publicación *Cómo determinar el grado de viscosidad de un plástico*, el ensayo MFI consiste en introducir pellets en un cilindro con cierta temperatura, el material es forzado a pasar a través de un orificio con diámetro conocido, se aplica un peso durante diez minutos, que lo obliga salir por la boquilla. Transcurrido este tiempo se procede a recolectar la muestra y registrar su peso, para posteriormente compararlo con el peso promedio de los polímeros.

Este ensayo se rige con la norma ASTM D1238 y la ISO 1133, “el resultado se registra en función de cuántos gramos de plástico salieron por la boquilla en un periodo de 10 minutos. Por lo tanto, las unidades que se utilizan para la prueba son dadas en gramos/10 minutos.”²

1.2.1. Relación de propiedades vs fluidez

A continuación, se muestra el resultado de comparar la fluidez con algunas propiedades como el brillo, procesabilidad, resistencia mecánica, flexibilidad, encogimiento y alabeo.

² ZAVALETA, Marco. *Cómo determinar el grado de viscosidad de un plástico*. <https://moldeoporinyeccion.com/como-determinar-el-grado-de-viscosidad-de-un-plastico/>. Consulta 3 de noviembre de 2020.

Tabla I. **Comparación entre fluidez y propiedades**

Propiedad	Brillo	Procesabilidad	Alabeo	Resistencia mecánica	Encogimiento	Flexibilidad
Fluidez						
MFI alto	+	+	-	-	-	+
MIF bajo	-	-	+	+	+	-

Fuente: PEMEX. *Petroquímica, polietilenos*. p. 13.

Si el índice de fluidez de un material es alto, entonces aumenta el brillo, la procesabilidad y flexibilidad del polímero. Por otra parte, el material será más propenso a presentar encogimiento y curvatura en su aspecto físico, mientras que la resistencia mecánica disminuirá.

Si el índice de fluidez de una resina es bajo, entonces se invertirán la relación dicha en el párrafo anterior, las propiedades de alabeo, encogimiento y resistencia mecánica aumentará, y disminuirá el brillo, flexibilidad y procesabilidad del material.

1.2.2. **Relación de propiedades vs densidad**

Las ramificaciones son un aspecto importante en la estructura química de los polímeros porque en ellas radica la diferencia entre polietileno de baja y alta densidad. El PEBD presenta mayor número de separaciones, proporcionando mayor flexibilidad. El PEAD no tiene cadenas dispersas, otorgando rigidez y resistencia al impacto.

El material es translúcido si hay pocas ramificaciones, permitiendo que el polímero sea cristalino. Es transparente cuando los polietilenos muy ramificados no pueden acomodarse y permiten el paso de la luz.

Tabla II. **Diferencia entre polietileno de baja y alta densidad**

	Propiedades						
	Densidad	Permeabilidad	Rigidez	Deformación	Fluidez	Impacto	Compresión
Polietileno de baja densidad	-	+	-	+	+	+	+
Polietileno de alta densidad	+	-	+	-	-	-	-

Fuente: PEMEX. *Petroquímica, polietilenos*. p. 19.

Se dice que un material es permeable si un líquido lo atraviesa. El polietileno de baja densidad presenta baja resistencia a la deformación, absorbe perfectamente los impactos y es posible deformarlo. Por otra parte, el PEAD no es permeable y no puede ser deformado ni comprimido y no absorbe el impacto.

1.3. **Reciclaje**

Dentro de los hábitos de consumo están las 3R; reducir, reutilizar y reciclar. Esta última contribuye a la disminución de la contaminación del medio ambiente y reduce el volumen de residuos. De esta forma se conservan los recursos naturales, se tiene un ahorro en los costos de energía eléctrica y crea nuevos puestos de trabajo. El objetivo principal es convertir desechos en materia prima para su posterior utilización.

1.3.1. **Concepto de reciclaje e identificación de los polímeros**

Se llama reciclaje al proceso de recuperar, clasificar y transformar desperdicios o basura en productos nuevos y materia prima, de esta forma se

reincorporan los desechos a un nuevo ciclo de vida. Existen dos tipos de residuos, los orgánicos y los inorgánicos, estos últimos se deben clasificar de acuerdo a su origen y es de mucha ayuda que se ordenen por color, como, por ejemplo: color amarillo para los plásticos y metales, azul para el papel y verde para el vidrio.

Los envases o productos plásticos tienen el triángulo de flechas de seguimiento, en su interior se encuentra la numeración del 1 al 7. Esta clasificación se hace con el fin de especificar el tipo de resinas presentes en los polímeros.

Tabla III. **Código de identificación de los plásticos**

Símbolo	Descripción	Aplicación
	PET (tereftalato de polietileno)	Botellas que han contenido agua pura y gaseosas.
	PEAD (polietileno de alta densidad)	Cajillas y canastos.
	PVC (cloruro de polivinilo)	Tubos y tacones.
	PEBD (polietileno de baja densidad)	Tapones de garraones, film, cubiertas para cables de telecomunicación y bolsas.
	PP (polipropileno)	Sillas, mesas, bancos, baños, palanganas, canastos y envases para productos de higiene personal.
	PS (poliestireno)	Estuches de CD'S y cartones para huevos.
	Otros	

Fuente: elaboración propia.

El número siete tiene la clasificación de otros ya que es una mezcla de varios plásticos y por esta razón no es recomendable reciclarlo. Se utiliza en la fabricación de botellas de aderezos y en platos de microondas.

1.3.2. Impacto del reciclaje en el medio ambiente

El reciclaje tiene como objetivo el dar solución al problema en la acumulación de desechos en los vertederos y reducir el volumen de desperdicios plásticos. El impacto del reciclaje en el medio ambiente se mide por medio del ciclo de vida útil que tenga el material reciclado.

Para que el reciclaje proporcione resultados positivos, es necesario aplicar hábitos de consumo o también conocidos como las tres erres (3R), estas son: reducir, reutilizar y reciclar. De esta forma los residuos se convierten en nuevos productos o en algunos casos en materia prima para ser convertidos en producto final.

La reutilización de productos desechados permite el ahorro de costos de energía, porque el proceso de elaboración de nuevos materiales consume el doble de recursos.

No obstante, el petróleo es un recurso natural no renovable, lo que significa que no se puede regenerar a una tasa mayor a la de su consumo, por lo tanto, es limitado.

Combustibles fósiles como el gas licuado, petróleo, carbón y gas natural, son beneficiados en el reciclaje porque al reutilizar los residuos plásticos se está contribuyendo a no utilizar las reservas naturales y no se contribuye a la explotación de estos recursos.

1.4. Proceso del reciclaje

No todos los plásticos pueden ser reciclados, los polímeros que estén identificados con el código que se muestra en la tabla III si pueden ser procesados con algunas excepciones del código 7, los que no clasifican en este proceso son los que tienen en su composición los siguientes elementos: pegamento y aluminio, otro tipo de resinas y los que tienen algún pigmento o colorante. Esto debido a que causa daños en las maquinas.

La recepción del material es el primer paso del reciclaje, de aquí en adelante los desechos plásticos pasan a ser la materia prima, generalmente provienen del rechazo industrial y residuos post consumo, pueden llegar en granel, en sacos y cajas plásticas.

En el proceso de selección y separación, se identifica que plásticos son aptos para ser reciclados y cuáles no. Se deben separar por el tipo de polímero, por su color y si llevan consigo alguna etiqueta o residuo de suciedad como tierra. Esto se realiza con el fin de que el producto terminado sea homogéneo y evitando una producción ineficiente. Esta etapa puede ser mecánica y posteriormente se realiza una última inspección de forma manual.

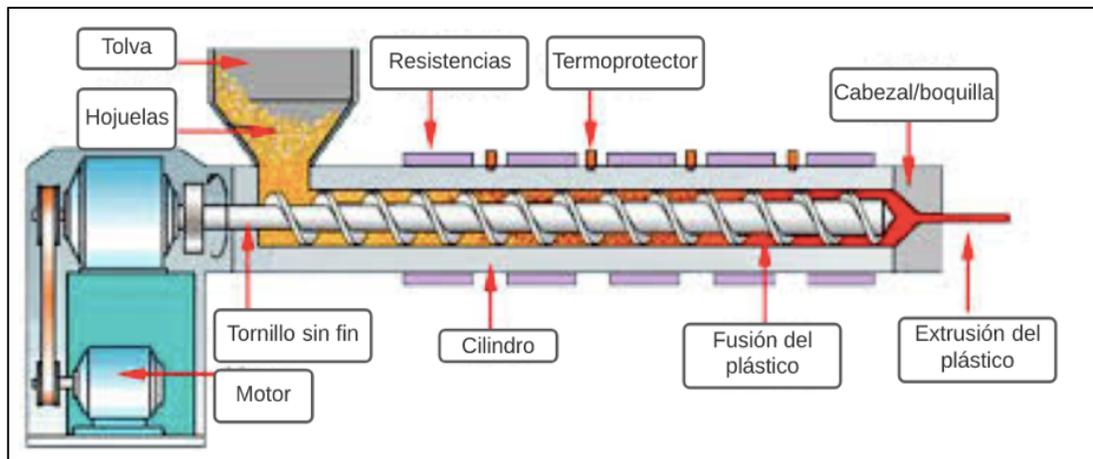
Seguidamente prosigue el molido, lavado y secado del material. Estos tres procesos pertenecen a la línea de lavado.

Y por último se encuentra la línea de peletizado. La extrusora realiza la función de presión y por medio de un tornillo de Arquímedes empuja el material y lo obliga a pasar por un dado o cabezal de cierto diámetro. Por último, el plástico debe pasar por unas mallas que evitan el paso de impurezas que no fueron retiradas con éxito en los pasos anteriores. El polímero ahora tiene forma de hilo

o de filamento, que permite que sea cortado en granos o mejor conocido como pellet.

El pellet se almacena y queda listo para que logística se encargue de entregarlo a su lugar de destino.

Figura 3. **Extrusora de plástico**

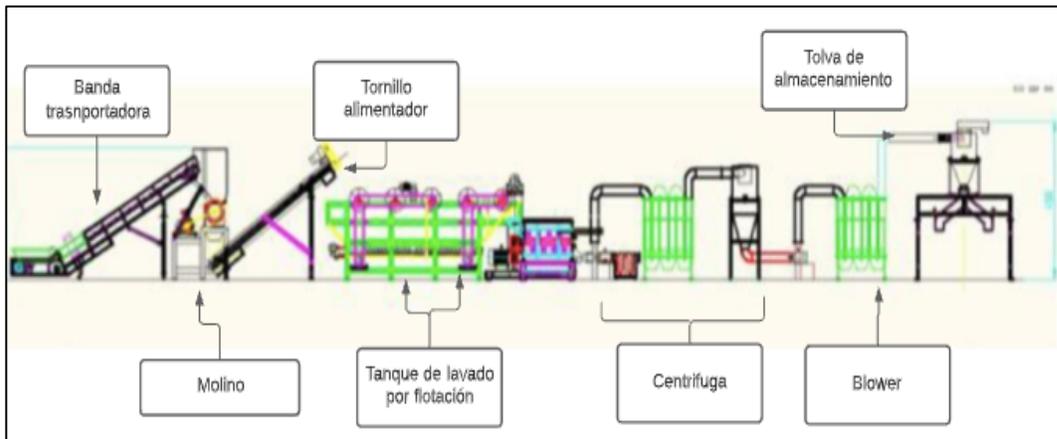


Fuente: elaboración propia, empleando Lucidchart.

1.5. **Línea de lavado de película o funda PEBD y PP**

Esta línea está formada por el molido, lavado y centrifugado de la funda de polietileno de baja densidad y el polipropileno, este material son los empaques industriales como bolsas de detergente y plástico para embalajes.

Figura 4. **Línea de molido, lavado y secado de plástico**



Fuente: elaboración propia, empleando Lucidchart.

A continuación, se explicará el funcionamiento de cada una de las secciones que se muestran en la figura 4.

El PP Y PEBD provienen de vertederos de basura, que tienen adheridas partículas contaminantes e impurezas que deben ser removidas en la línea de lavado. para poder par el material se coloca en una banda transportadora que lo dirige a un molino en donde se tritura la funda hasta formar hojuelas o trozos de 14 a 16 mm, esto con el fin de reducir el volumen de la materia prima, facilitar los procesos de lavado, centrifugado y extrusión.

Después del molido, las hojuelas se mueven por un alimentador que se dirige a la tina de lavado, la lavadora posee aspas que mueven el agua para cubrir por completo el material. En este proceso se retira la mayor cantidad de residuos contaminantes, en el fondo de las tinas se queda todo aquel componente que sea más denso que el agua como tierra, metales y pequeñas piedras.

Después de que el plástico sale de la línea de lavado pasa a una centrifuga en donde las hojuelas son secadas, el material pasa por un *blower* para asegurar que se retiró la totalidad de agua. El material se almacena en una tolva en donde está listo para ingresar a la máquina extrusora.

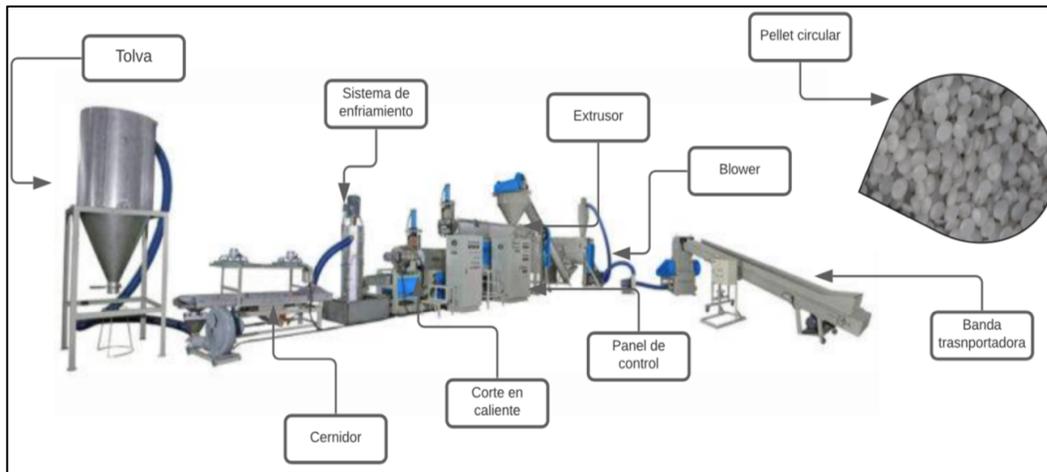
1.6. Maquinarias de peletizado

El peletizado es el proceso final del reciclaje de plástico, aquí el material se convierte en gránulos o en pellet que facilita la manipulación de estas para la elaboración del producto final. Existen dos tipos de máquinas, una de ellas realiza cortes en frio y la otra corte en caliente. Ambas son alimentadas con las hojuelas que fueron trituradas en la sección de molido.

1.6.1. Peletizadora corte en caliente

La máquina es alimentada por las hojuelas, estas se funden peletizadora realiza un corte interno, la cuchilla es apta para realizar cortes en materiales a altas temperaturas, dando una forma redonda al pellet, posteriormente los granos son sumergidos en agua, permitiendo que queden completamente sellados, proporcionando mejor calidad al producto.

Figura 5. **Partes de máquina peletizadora corte en caliente**

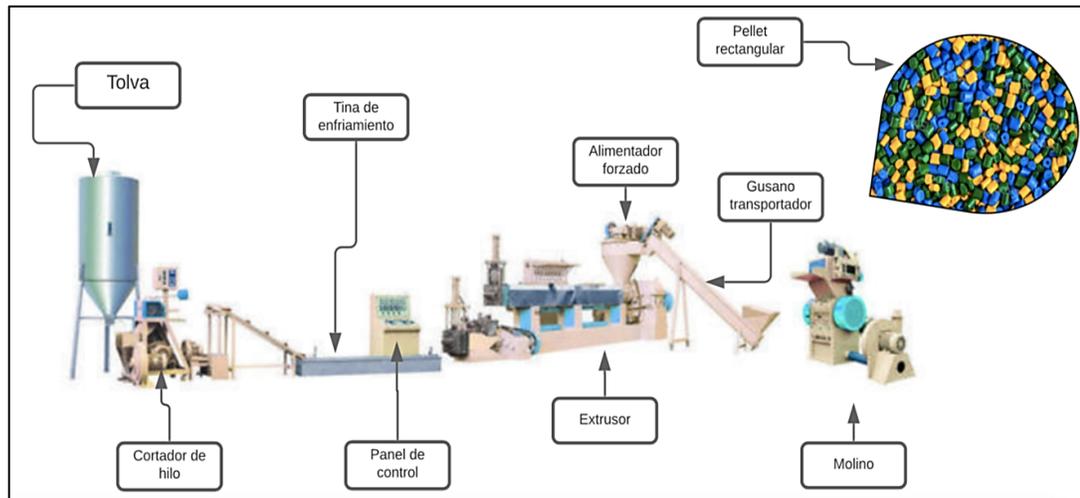


Fuente: elaboración propia, empleando Lucidchart.

1.6.2. **Peletizadora corte en frío**

El corte en frío funde las hojuelas y las empuja por unos orificios de diámetro reducido hasta formar filamentos o hilos, estos se sumergen en una tina con agua reduciendo su temperatura, posteriormente son cortados por la cuchilla que le da una forma cilíndrica al pellet. Las paredes laterales del grano no están selladas dando como resultado un producto económico, pero de baja categoría.

Figura 6. Partes de máquina peletizadora corte en frío



Fuente: elaboración propia, empleando Lucidchart.

Tabla IV. Diferencia entre una máquina peletizadora corte en frío y corte en caliente

Peletizadora corte en frío	Peletizadora corte en caliente
• Pellet rectangular	• Pellet circular
• Se enfría antes de cortar	• Se corta y luego se enfría
• Trabaja material seco y húmedo	• Material PE
• Posee dos extrusoras	• Se puede modificar el motor principal
• Alimentación forzada	• Posee transportadoras para el material y minimizar la mano de obra
• Material más económico	• Material costoso
• Menor calidad en el producto final	• Material de alta gama

Fuente: elaboración propia.

1.7. Aplicación de control de calidad en los productos reciclados

La calidad es alcanzar la superioridad o excelencia del producto, es un atributo único que lo hace diferente y poseedor de estándares altos. Es imposible

obtener los resultados deseados sino se tiene al personal adecuado y que esté capacitado para cubrir las diferentes áreas de producción.

El cliente es el punto de partida en la calidad, ya que se debe anticipar a sus necesidades y especificaciones, asimismo superar sus expectativas y que el producto tenga valor añadido que lo distinga de su competencia.

Cada producto deber estar sometido a un constante estado de mejora continua, a este proceso se le llama calidad total.

El concepto de calidad total no se refiere únicamente al producto y al cliente, sino que engloba a todas las áreas de una organización; logística, administración, ventas, producción, contabilidad y finanzas. La empresa debe trabajar como uno solo y debe ser liderada por los altos mandos que guiaran a un único objetivo que es satisfacer al consumidor, proveedores y a los accionistas.

La calidad total es una filosofía de trabajo desarrollada en los años 80 en Japón, busca la excelencia y cero defectos por medio de la capacitación y el desarrollo, recurrir a nuevas certificaciones y realizar auditorías internas como externas. En pocas palabras, es necesario enfocarse en toda la cadena de suministro, desde la entrada de los insumos hasta la salida del producto terminado y su distribución. Todo esto con la ayuda del trabajo en conjunto de todos los niveles de la organización.

En el reciclaje es importante que la materia prima cumpla con todas las especificaciones, hay que recalcar que no todos los desechos plásticos son aptos para ser reciclados. Todo depende de las especificaciones que el cliente solicite.

Para saber si el pellet es de buena calidad, es necesario producir el producto final (bolsas, sillas, mesas o canastas), si el grano tiene algún fallo se

verá en el aspecto físico del material elaborado. Algunos de los problemas más recurrentes son:

Tabla V. **Problemas en la extrusión de polietileno de baja densidad**

Problemas visibles en el producto terminado	causas
• Formación de ondas	Baja temperatura de fundido
• Porosidad	Burbujas formadas por la humedad
• Burbujas en el extruido	Alta humedad en resinas, uso de aditivos metalizados
• Puntos o líneas	Contaminación
• Mala distribución de color	Mezcla no uniforme
• Película bloqueada	Alta temperatura
• Variaciones de espesor	Abertura del dado inadecuada
• Perforaciones en la película	Equipo sucio, alta temperatura y baja producción
• Delaminación de película	Resinas incompatibles

Fuente: PEMEX. *Petroquímica, polietilenos*. p. 31.

1.8. Controles industriales utilizados en la industria del reciclaje

Los controles industriales son procesos que permiten que cierto producto cumpla con características específicas y niveles de calidad que exige una empresa. Entre las tácticas más utilizadas se encuentran; normalización, herramientas graficas de control, muestreo de aceptación y la utilización de software como Minitab.

Entre la normalización se puede mencionar la norma ISO 17422, es una guía para todas las industrias que transforman plástico, para la inclusión de aspectos ambientales que debe incluir la fabricación y reciclaje de productos plásticos.

Algunas de las normas que propone son; el uso de técnicas para identificar y evaluar el impacto ambiental, procedimientos para evitar contaminación, conservación de materiales y de energía, minimización de recursos no renovables y la revisión constante de nuevas formas de cuidado del medio ambiente.

Anteriormente se habló de la calidad total que está estrechamente relacionada con el ciclo de mejora continua PDCA de Deming, permite el logro de objetivos y facilita la toma de decisiones.

Se aplica un PDCA porque existe un problema, hay algo que mejorar y como situación preventiva. Este ciclo se compone de cuatro fases, la primera es el plan, consiste en elaborar el proyecto. La segunda fase es la ejecución del mismo. La tercera es la verificación, corroborar que todo este conforme lo planeado. Y por último está el actuar, en donde se corrige todos los fallos y se implementa el sistema.

1.8.1. Control estadístico

El control estadístico tiene como objetivo el hacer predecible un proceso con el tiempo y verificar si concuerda con el diseño del producto. Además, sirve como herramienta que ayuda en la toma de decisiones y facilita la mejora continua, así lo señala Roberto Carro Paz y Daniel González Gómez en Control estadístico de procesos.

1.8.1.1. Variabilidad

La variabilidad en los procesos son cambios inevitables que afectan al producto, provocando un desequilibrio en la producción. Existen dos tipos de variaciones: por causas comunes y por causas especiales.

Variación por causas comunes, estos forman parte del proceso lo que deriva que sean difíciles de eliminar. Estas variaciones se pueden atribuir por fallos en la maquinaria, malos procedimientos por parte de los operarios, tiempo de respuesta del sistema o por la materia prima.

Variación por causas especiales o asignables, estas se dan de manera fortuita, por ende, no se espera que suceda en el proceso o que existan situaciones poco comunes. No se encuentra registro alguno o no se tiene experiencia de ello.

Estas variaciones pueden ser por ausencia o contratación de un nuevo operario, cierres inesperados del sistema, cambios en la energía eléctrica, vibraciones o cambios en la maquinaria.

Tabla VI. **Diferencia entre variaciones por causas comunes y variaciones especiales**

Variaciones comunes	Variaciones especiales
• Afecta a toda la producción	• Afecta a una parte de la producción
• Comportamiento estadístico normal	• Comportamiento estadístico aleatorio
• En algún momento fue planeado	• Repentino
• Causa probable	• Causa no probable
• Causa asignable	• Causa no asignable
• Patrón natural	• Patrón no natural

Fuente: elaboración propia.

1.8.1.2. Error tipo I y Error tipo II

El no distinguir adecuadamente entre estos dos tipos de variabilidad induce a cometer dos tipos de errores en el proceso productivo:

Error de tipo I: Se produce cuando el empleado o analista llega a la conclusión de que el proceso está fuera de control, basándose en un resultado de muestreo ubicado fuera de los límites de control, cuando en realidad se trata de un defecto puramente aleatorio.³

En este error se suele sobre reaccionar o actuar de manera precipitada y en la mayoría de ocasiones no se toma una decisión de forma objetiva, se cree que el problema proviene de una causa especial, cuando en realidad es una situación más compleja como lo es una causa común.

Error de tipo II: “Se presenta cuando el empleado concluye que el proceso está bajo control y que sólo muestra discrepancias aleatorias, cuando en realidad dicho proceso está fuera de control estadístico.”⁴

Este caso es el contrario del primer error debido a la falta de acción oportuna y al reaccionar hasta que se tiene una crisis en el proceso. El error radica en tomar como primera alternativa la variabilidad por causa común cuando en realidad es una causa especial.

1.8.2. Gráficos de control

Se puede evitar cometer el error tipo I o el tipo II pero no ambos. Los gráficos de control son una herramienta para no incurrir en los dos tipos de error a la vez.

³ CARRO PAZ, Roberto. *Control estadístico de procesos*. p. 9.

⁴ *Ibíd.*

Para realizar los gráficos de control es necesario determinar cuál es el proceso que se estudiará e identificar las variables a analizar (peso, temperatura, número de productos defectuosos, volumen o porcentaje de desperfectos).

Posee una línea central la cual indica el resultado esperado y en el que, el proceso estará en óptimas condiciones. Así mismo está formado por otros dos límites, uno inferior y otro superior. Si las variables salen de este rango, significa que el procedimiento está fuera de control y se debe a causas especiales.

Estos tres límites son calculados por control estadístico, haciendo uso de rango, media, muestra, desviación estándar y subgrupos.

En este caso se puede considerar a la población como el total de artículos producidos, en algunas ocasiones es imposible analizar uno por uno cada elemento, por ello es necesario tomar una muestra que es una pequeña fracción de toda la producción con el objetivo de inferir alguna característica en específico. Por ende, esta debe ser aleatoria y representativa.

El promedio representa a toda la muestra, la desviación estándar indica que tan dispersos están los valores de la media aritmética.

Los gráficos de control se dividen en; por variables o cuantitativos, y en atributos o cualitativos.

1.8.3. Gráficos de control por variables

Estos gráficos permiten identificar y posteriormente investigar las causas de fallos para realizar los cambios necesarios en el proceso, las variables deben de

ser medibles como por ejemplo el peso, volumen, intensidad de corriente o temperatura.

Existen dos tipos de gráficos por variables, el que estudia subgrupos y los que estudian los datos de forma individual.

- Los gráficos X-R y X-S analizan los subgrupos
- El gráfico I-MR analiza los datos de forma individual

1.8.4. Gráficos de control por atributos

Estos gráficos se enfocan en analizar las cualidades propias del producto, por lo general los atributos no pueden ser medidos y dependen de la observación, su mayor desventaja es que necesita una muestra grande para que los datos estadísticos sean válidos.

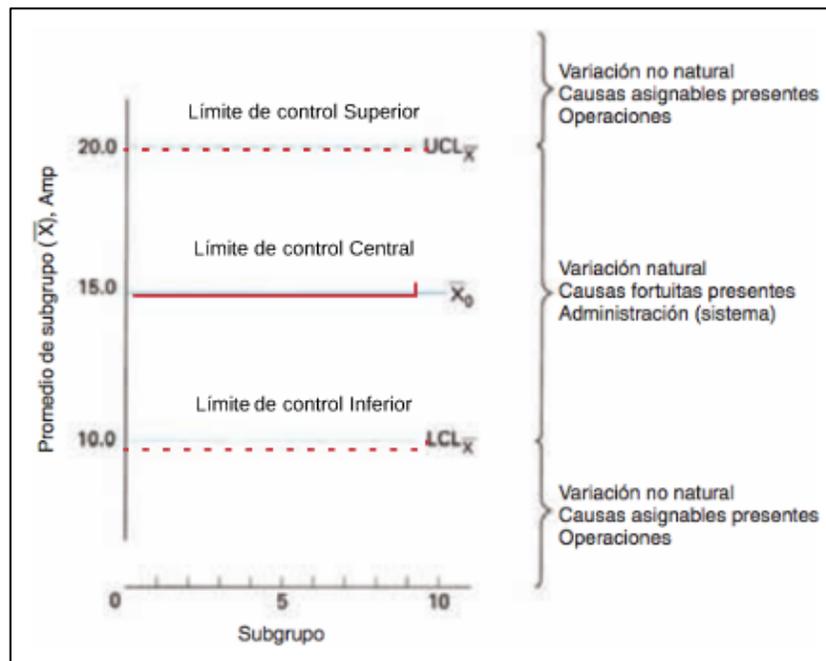
Los atributos abarcan desde el tamaño, diseño, color, entre otros. Se pueden denominar como bueno o malo, aprobado o reprobado. Estas características de no conformidad se denomina un defecto, se dice que un artículo es defectuoso si tiene varios defectos. Hay cuatro gráficos:

- Gráfico NP: determina el número de artículos defectuosos en la muestra
- Gráfico C: determina el total de defectos de los subgrupos de la muestra
- Gráfico U: determina el número de defectos por artículo
- Gráfico P: determina el porcentaje de artículos defectuosos en la muestra

1.8.5. Gráfico X-R

Está formado por dos gráficas, la carta X que determina la variación entre las medias y el gráfico R estudia el cambio en los rangos. Permite detectar la consistencia, control y mejora de un proceso productivo. Se compone de las siguientes partes: límite de tolerancia inferior y superior, valores promedio y variables de medición.

Figura 7. Representación de un gráfico de control



Fuente: BESTERFIELD, Dale H. *Control de calidad*. p. 186.

1.8.6. Gráfico I-MR

El gráfico I-MR o de individuales, es un caso particular o variación de la carta X-R. Se utilizan en procesos lentos, en situaciones donde es costoso

inspeccionar más de un artículo, en procesos químicos o en mediciones de temperatura. De acuerdo con Besterfeld, en su libro Control de la calidad, existen seis pasos para la elaboración de los gráficos por variables:

- Seleccionar la característica de calidad
- Escoger el subgrupo
- Reunir los datos
- Determinar la línea central y límites de control
- Establecer los límites supervisados
- Alcanzar el objetivo

2. ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL PP Y PEBD

2.1. Producto final elaborado por el cliente

Guateplast, S.A se caracteriza por vender y fabricar recipientes plásticos, sillas y mesas. Utiliza el método de moldeo por inyección, consiste en fundir el pellet e inyectarlo en un molde de aluminio con la forma que se desea obtener.

El producto final debe de estar libre de imperfecciones, provocados por problemas en el proceso de extrusión tal y como se indica en la tabla V.

2.2. Necesidades y requisitos del cliente

Antes de realizar una compra, el cliente necesita una muestra de la materia prima, en este caso el pellet, para considerar que el producto es apto para elaborar sus productos debe cumplir con los siguientes requisitos:

- No tener humedad.
- El pellet debe estar completamente limpio.
- No se deben formar poros dentro del pellet.
- Tener el pigmento adecuado.
- Estar libre de adhesivos.
- La muestra del material debe tener el peso requerido.
- El pellet debe ser del material solicitado (polietileno de baja densidad o polipropileno).

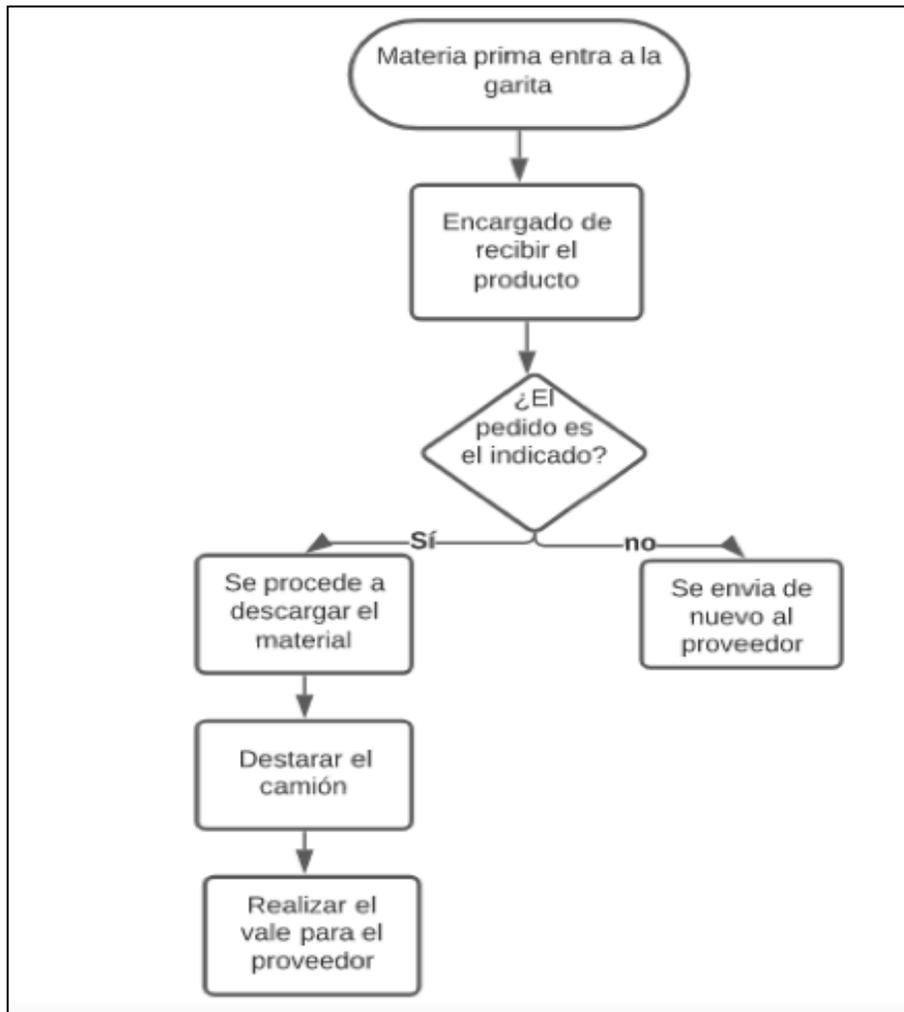
2.3. Proceso de recepción y entrega en la planta

La entrega de mercancía es el inicio de la cadena de suministro, se debe revisar las condiciones en las que ingresa la materia prima para posteriormente almacenarlas e ingresarlas en el inventario.

2.3.1. Recepción de materia prima PEDB y PP post consumo

El camión ingresa a la garita en donde un operario es el encargado de recibir el producto y verificar que el pedido sea el que se solicitó al proveedor. La materia prima ingresa en jumbos o en pacas, se debe destarar el camión. Posteriormente se procede a realizar un vale al proveedor en donde indique la fecha de entrega.

Figura 8. Pasos para la recepción de PEDB Y PP



Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Almacenaje

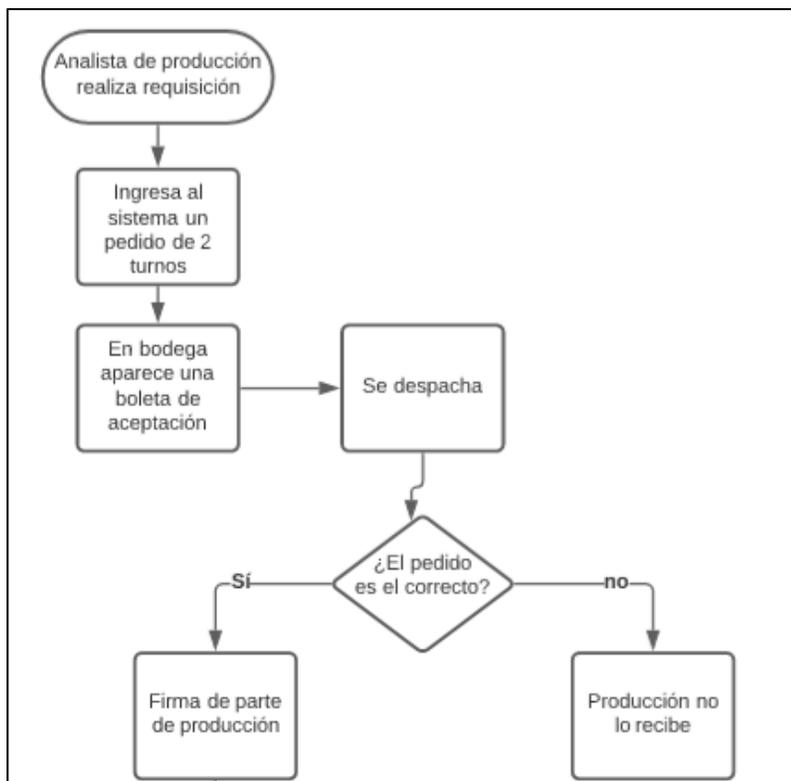
Las pacas y jumbos son transportados por un montacargas que se encarga de apilar el material en filas de dos. No necesita estar almacenado a cierta temperatura.

2.3.3. Entrega al departamento de Producción

El analista de producción realiza una requisición autorizada por el departamento, ingresa al sistema un pedido que se utilizará en dos turnos. Esta solicitud se envía al área de Bodega, se debe autorizar la boleta de salida del material.

Antes de salir de bodega, la materia prima debe ser verificada por producción, por último, se debe actualizar el inventario con las salidas correspondientes.

Figura 9. Pasos para la entrega a producción



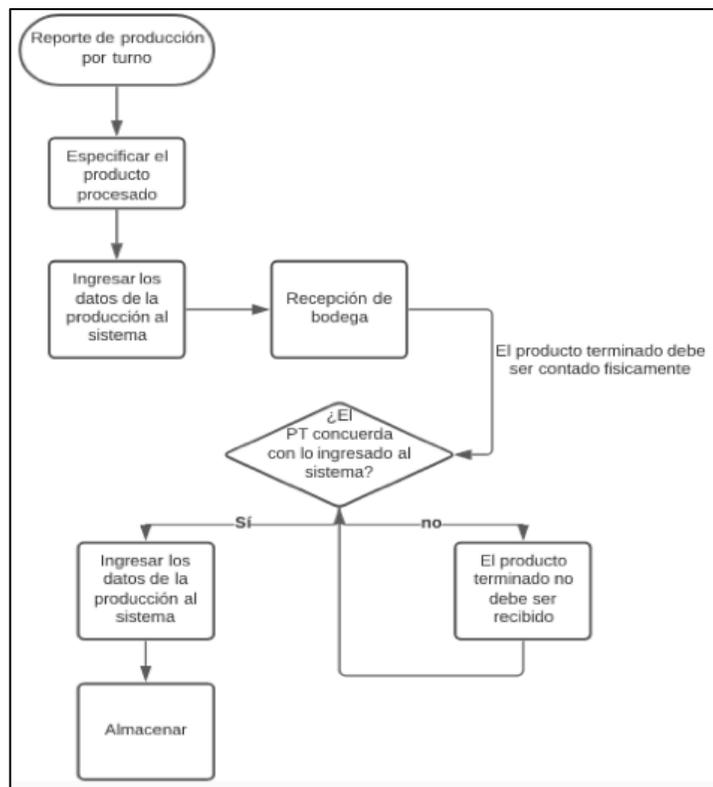
Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Entrega de PT a bodega

Producción realiza un reporte por turno, este documento especifica el producto procesado, cantidad, tipo (polietileno de baja densidad o polipropileno), y peso. Estos datos son ingresados al sistema.

El producto terminado se debe contar físicamente antes de almacenarlo, de forma tal que concuerde con lo ingresado al sistema. Bodega firma el reporte elaborado por producción. De esta forma los artículos están disponibles en el inventario y listos para vender.

Figura 10. Pasos para la entrega de PT a bodega

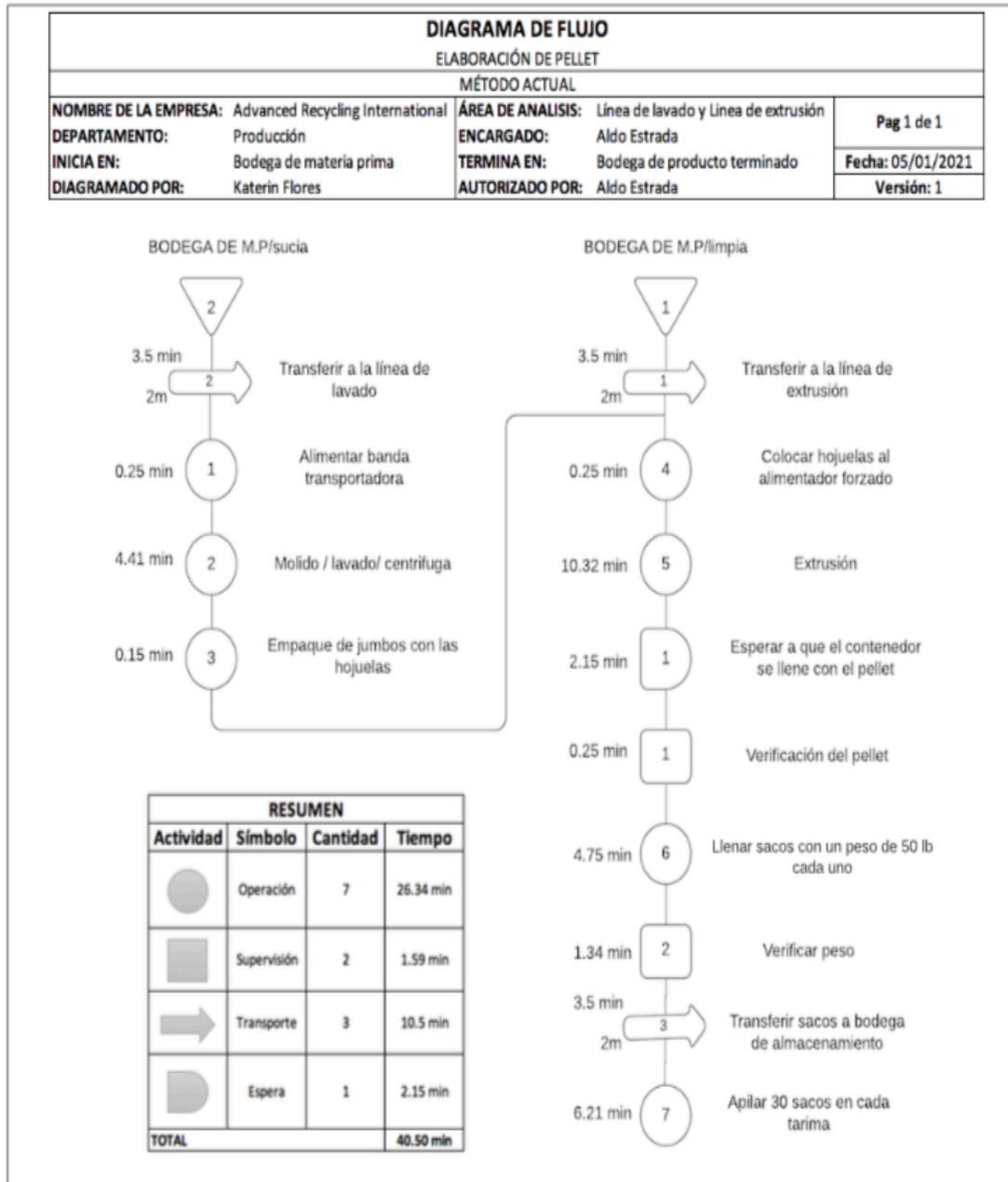


Fuente: elaboración propia.

2.4. Diagrama de flujo

El proceso de elaboración de pellet que se muestra en la figura 11, está diseñado para una carga de 1 500 lb. Cada día se elaboran 100 sacos con un peso de 50 lb cada uno. Por lo tanto, la línea de lavado y de extrusión poseen una capacidad de 5 000 lb de material PEBD Y PP.

Figura 11. Diagrama de flujo para la elaboración de pellet



Fuente: elaboración propia, empleando lucidchar.

2.5. Producto terminado

Al finalizar la etapa de peletizado se pesan sacos con 50 lb de pellet, estos son almacenados y listos para su venta. Con él se pueden elaborar mesas y sillas, bolsas para basura, film y en envases.

El pellet funciona como materia prima para los clientes que se dedican a la elaboración de los productos anteriormente mencionados. El grano debe estar listo para entregar una muestra antes al comprador, de esta forma garantizar que se está cumpliendo con todos sus requisitos.

2.6. Proceso de limpieza en línea de lavado (etapa 1)

La línea de lavado se implementa con el objetivo de eliminar impurezas en el PEBD y facilitar el proceso de extrusión.

2.6.1. Lavado

Se pide a producción el producto, la materia prima llega sucia y antes de ser procesada debe pasar por la línea de lavado. Sus partes son: molino, encargado de convertir en hojuelas el polipropileno y el polietileno de baja densidad. Gusano transportador, tiene la función de llevar el material a la tina.

El material es sumergido en agua y todos los residuos como tierra, papel o piedras, se quedan en el fondo de la tina.

2.6.2. Secado

Seguidamente las hojuelas pasan por la centrifuga, su funcionamiento es parecido al de una lavadora convencional, la diferencia radica en que el eje es el que gira y está ubicado de forma horizontal, mientras que el tambor se mantiene fijo. El material es succionado por un *blower*, que crea vórtices de aire que transportan el material por un serpentín que funciona como un camino de calor terminando de secar por completo el material.

2.6.3. Recolección de datos en la línea de lavado

Para encontrar las causas por las cuales el pellet no es un producto que cumpla los requisitos y necesidades del cliente, se debe comenzar en la primera etapa del proceso que es la línea de lavado, es necesario observar y recopilar toda la información que se descubra, comportamiento de cada una de las partes que lo integran y que elementos presentan inconvenientes.

2.6.3.1. Obstrucción en la tina de lavado

La tina de lavado tiene una capacidad de 7 000 litros de agua, las aspas no tienen un movimiento continuo provocando que se estanque el líquido y las hojuelas no se limpien en su totalidad.

2.6.3.2. Deshidratador

Como se mencionó anteriormente el deshidratador exprime a base de centrifugado, el eje está formado por aspas inclinadas que giran a 3 600 rev/min, mediante fuerza centrípeta el agua sale por los agujeros que tiene el tambor.

En algunas ocasiones las hojuelas entran a la centrifuga con residuos de suciedad, estos remanentes generan obstrucciones en los agujeros del tambor, provocando que el deshidratador no trabaje en un cien por ciento de su eficiencia.

2.6.3.3. Calentador

En la última sección de la línea de lavado, el calentador funciona como un alimentador de aire que ayuda a que no se quemen las resistencias de la máquina y permite que el vapor generado por la temperatura elevada del sistema y el remanente de agua en las hojuelas no se quede atrapado en el interior.

La temperatura inicial es de 200 °C grados generando que el material se fundiera con la tubería disminuyendo cada vez más su diámetro.

Las especificaciones de la maquina indican que la temperatura ideal es de 100 °C grados permitiendo el paso del aire.

2.7. Proceso de peletizado (etapa 2)

Es la etapa final en la transformación del polímero, se debe considerar que el peletizado consiste en granular el plástico ya sea moldeándolo o comprimiéndolo. Se necesita una temperatura entre 230 a 240 grados Celsius para cambiar las hojuelas de estado sólido a líquido.

2.7.1. Color

Para la pigmentación de las hojuelas se utiliza *Masterbatch*, este colorante se extrae de la granza. Se coloca en un dosificador y se programa a una velocidad dentro del alimentador forzado.

2.7.2. Mezclado

En esta parte, el alimentador forzado contiene las hojuelas y el pigmento, estos dos se deben mezclar muy bien para obtener un resultado homogéneo y el color especificado por el cliente.

2.7.2. Transformación y peletizado

Después del mezclado se llega al cañón de la peletizadora, las hojuelas se funden y son empujadas hacia una malla que termina de eliminar cualquier residuo de suciedad que aun este presente.

El polímero fundido entra al extrusor y es empujado a una segunda malla que realiza una limpieza como prevención, en esta parte el material pasa por agujeros de diámetro reducido y se forman los hilos, estos entran en la tina de enfriamiento para reducir su temperatura y posteriormente se cortan para formar el pellet.

2.7.3. Recolección de datos

Debido a la complejidad de esta etapa se analizan más elementos, cada una de las anomalías y hallazgos que se encuentren a lo largo del proceso.

2.7.3.1. Temperatura inadecuada en las zonas

Las resistencias eléctricas de la peletizadora no cumplen con su tiempo de vida útil, debido a que la temperatura del sistema es mayor.

La temperatura se debe revisar diariamente en el panel de control y posteriormente reemplazar las resistencias que estén dañadas.

Tabla VII. **Resistencias eléctricas**

Resistencia	Temperatura	Aislamiento	Carga admisible
Temperatura de trabajo mínima	250 °C	Mica	4 W/cm ²
Temperatura de trabajo máxima	300 °C	Mica	9 W/cm ²

Fuente: elaboración propia.

2.7.3.2. Obstrucción del desgasificador

El desgasificador se encarga de eliminar el oxígeno disuelto en el sistema para evitar daños en la maquinaria. No obstante, en esta área se encuentra un exceso de vapor no previsto, debido a que el material no está completamente seco.

2.7.3.3. Peletizado libre de impurezas

Si el polímero no se limpia correctamente genera un producto final con fallos como rasgaduras o el conocido ojo de pescado. Para evitar estos errores es necesario revisar la materia prima y proceder a eliminar todos los residuos de suciedad en la línea de lavado

2.7.3.4. Filtros sucios

Los filtros se deben cambiar periódicamente a razón de una vez al mes. Si no se toma esta medida de prevención, se pueden generar obstrucciones en la maquinaria.

2.7.3.5. Ruptura del hilo en la tina de enfriamiento

En algunos casos el hilo se rompe dentro de la tina, interrumpiendo la continuidad del corte. La temperatura del agua en la tina debe de ser 34 °C - 34,5 °C.

Si la temperatura del agua es demasiado elevada, no enfría correctamente, provocando que el exterior del hilo sea duro y frio, pero caliente en su interior.

Para conocer a que temperatura se rompe el hilo, se procedió a tomar medidas con el termómetro dejándolo sumergido por 30 s.

Tabla VIII. **Temperatura en la tina de enfriamiento**

Recolección de datos:	Katerin Flores	Área:	Producción	Turno:	8:00-17:00
RASGOS EN OBSERVACIÓN	1. La tina tiene una distancia de 3,0m	Sección:	Línea de peletizado	2. Estado del hilo dentro de la tina de enfriamiento	
No.	Temperatura °C	Estado del hilo			
1	34,0	Sin ruptura			
2	34,5	Sin ruptura			
3	35,0	Sin ruptura			
4	35,5	Sin ruptura			
5	36,0	Sin ruptura			
6	36,5	Sin ruptura			
7	37,0	Sin ruptura			
8	37,5	Ruptura			
9	38,0	Ruptura			
10	38,5	Ruptura			
11	39,0	Ruptura			
12	39,5	Ruptura			
13	40,0	Ruptura			
14	40,5	Ruptura			
15	41,0	Ruptura			
16	41,5	Ruptura			
17	42,0	Ruptura			
18	42,5	Ruptura			
19	43,0	Ruptura			

Fuente: elaboración propia.

A partir de los 37,5 °C el hilo comienza a ceder hasta el punto de ruptura. La temperatura máxima registrada es de 43 °C.

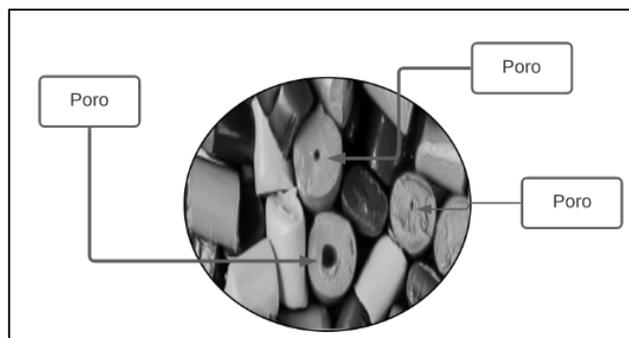
2.7.3.6. Humedad interna y externa del pellet

Durante el tiempo de observación se detectó que el pellet poseía poros en su interior y las cuchillas tenían partículas de agua.

Los poros dentro del pellet, significa que hay humedad en el material, dicha humedad puede ocurrir en los siguientes casos:

- La primera es la humedad interna, se genera debido a que la temperatura del agua en la tina de enfriamiento no es la adecuada. No enfría correctamente provocando que el exterior del hilo sea duro y frío, pero caliente en su interior.
- La segunda es la humedad externa, se debe a que el material permanece demasiado tiempo sumergido en la tina.

Figura 12. **Poros en el pellet**



Fuente: elaboración propia.

2.7.3.7. Partículas finas y colas en los pellets

Las colas en los pellets se refieren a una deformidad en el corte, que parece un desgarre en el material. La principal razón de este problema es debido a que, la cuchilla no está debidamente afilada.

El pellet con un corte no uniforme produce un desecho que se puede catalogar como aserrín, este remanente por si solo puede volver a ser reciclado.

Las especificaciones de la maquinaria indican que se debe afilar las cuchillas cada tres meses.

2.8. Herramientas para la solución e identificación de problemas

Para descartar y encontrar la principal razón que causa fallos en la calidad del pellet, es necesario realizar métodos para identificarlos, analizarlos y posteriormente darles solución.

2.8.1. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto permite ordenar las prioridades en la toma de decisiones y encontrar las causas principales que generan problemas. Igualmente descarta aquellas situaciones que no generan modificaciones en el proceso.

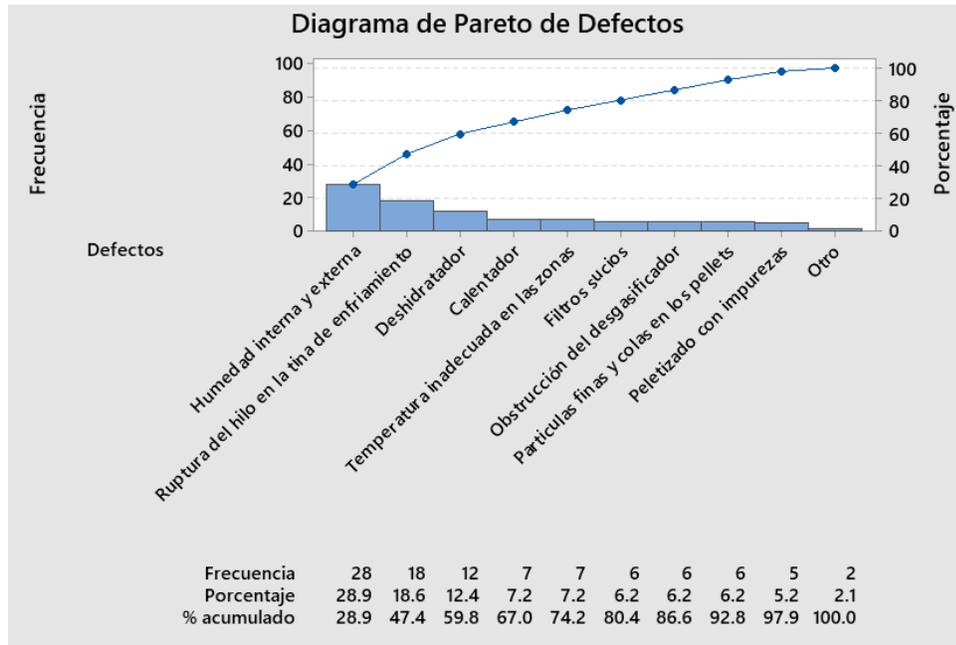
Para realizar el diagrama de Pareto se utiliza como base los problemas encontrados en la etapa uno y dos del proceso, el número de ocurrencia se obtuvo en un lapso de 32 días, con el fin de conocer que tan frecuente es cada problema.

Tabla IX. Recolección de datos para diagrama de Pareto

		EMPRESA DE TRANSFORMACIÓN DE POLIMEROS POST CONSUMO								Fecha inicio:	14/10/2020
		Recolección de datos								Fecha fin:	19/11/2020
		Problemas									
		Obstrucción en la tina de lavado	Deshidratador	Calentador	Temperatura inadecuada en las zonas	Obstrucción del desgasificador	Peletizado con impurezas	Filtros sucios	Ruptura del hilo en la tina de enfriamiento	Partículas finas y colas en los pellets	Humedad interna y externa del pellet
OCTUBRE	14/10/20								X		X
	15/10/20		X	X		X			X		X
	16/10/20		X		X	X	X	X	X	X	X
	17/10/20		X						X		X
	19/10/20										
	20/10/20	X	X						X		X
	21/10/20			X				X			X
	22/10/20		X		X		X			X	X
	23/10/20		X		X	X			X		X
	24/10/20			X	X	X		X			X
	26/10/20						X		X	X	
	27/10/20			X						X	X
	28/10/20		X					X	X		X
	29/10/20										X
	30/10/20										X
	31/10/20		X						X		X
NOVIEMBRE	2/11/20			X					X		X
	3/11/20	X				X			X		X
	4/11/20					X	X		X	X	X
	5/11/20		X						X		X
	6/11/20										
	7/11/20								X		X
	9/11/20			X							X
	10/11/20		X		X						X
	11/11/20		X		X				X		X
	12/11/20				X			X			X
	13/11/20						X		X		
	14/11/20			X					X	X	X
	16/11/20							X			X
	17/11/20										X
18/11/20								X		X	
19/11/20		X								X	

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Diagrama de Pareto: defectos del peletizado**



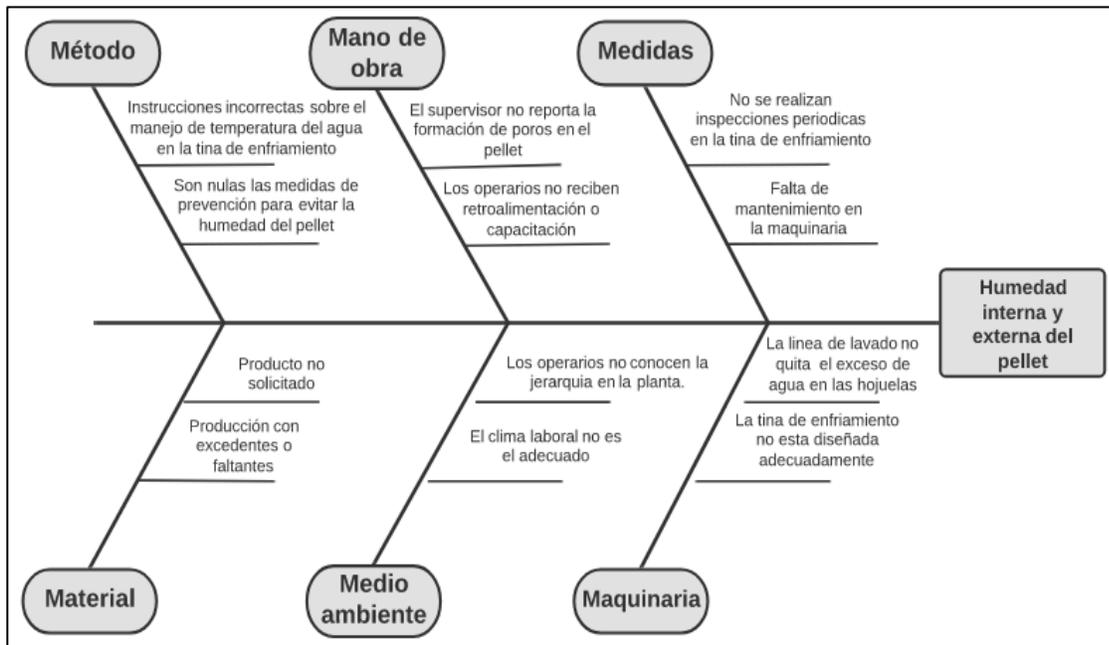
Fuente: elaboración propia, empleando Minitab.

Las causas que generan el 80 % de los problemas son la humedad y la ruptura del hilo, ambos factores ocurren en la tina de enfriamiento.

2.8.2. Diagrama de Ishikawa

Este diagrama permite identificar las causas raíces de la problemática y a su vez promover la mejora de los procesos. En este caso se analiza el problema principal que se obtuvo, con el diagrama de Pareto en la figura 13.

Figura 14. Diagrama de Ishikawa humedad en el pellet



Fuente: elaboración propia, empleando lucidchart.

2.8.3. Estado del filamento de PP y PEBD

A través de los resultados obtenidos en la tabla VIII, se obtienen los siguientes supuestos:

- Si la temperatura del agua es mayor igual a 37 °C y la distancia que recorre sumergido dentro de la tina de enfriamiento es de 3,0m, entonces el filamento se rompe.
- Si la temperatura del agua es menor igual a 34 °C y la distancia que recorre sumergido dentro de la tina de enfriamiento es de 3,0 m, entonces el filamento posee exceso de humedad.

- Si la temperatura del agua es menor igual a 34 °C y la distancia que recorre sumergido dentro de la tina de enfriamiento es menor a 3,0 m, entonces el filamento no enfría correctamente.

Tanto la temperatura como la distancia en la tina de enfriamiento deben proporcionar las condiciones adecuadas para que el filamento pueda enfriarse y a su vez no absorber exceso de humedad. Existe una posible relación entre estas dos variables, que afecta las propiedades físicas del hilo, por lo tanto, se procede a la recolección de los datos en conjunto.

Tabla X. **Temperatura y distancia en la tina de enfriamiento**

RASGOS DE OBSERVACIÓN			Sub grupo 1		
1. La tina de enfriamiento tiene una distancia inicial de 3,0m 2. Ruptura de hilo 3. Hilo con exceso de agua 4. Hilo seco 5. El interior del hilo se mantiene caliente			Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo
			3,0	37,0	Ruptura
			3,0	36,0	Ruptura
			3,0	35,0	Ruptura
			3,0	34,0	Ruptura
			3,0	33,0	Ruptura
Sub grupo 2			Sub grupo 3		
Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo	Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo
2,75	37,0	Ruptura	2,5	37,0	Ruptura
2,75	36,0	Ruptura	2,5	36,0	Ruptura
2,75	35,0	Ruptura	2,5	35,0	Exceso de agua
2,75	34,0	Ruptura	2,5	34,0	Exceso de agua
2,75	33,0	Ruptura	2,5	33,0	Exceso de agua
Sub grupo 4			Sub grupo 5		
Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo	Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo
2,25	37,0	Exceso de agua	2,0	37,0	Exceso de agua
2,25	36,0	Exceso de agua	2,0	36,0	Exceso de agua
2,25	35,0	Exceso de agua	2,0	35,0	Exceso de agua
2,25	34,0	Exceso de agua	2,0	34,0	Exceso de agua
2,25	33,0	Exceso de agua	2,0	33,0	Exceso de agua

Continuación de la tabla X.

Sub grupo 6			Sub grupo 7		
Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo	Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo
1,75	37,0	Exceso de agua	1,5	37,0	Exceso de agua
1,75	36,0	Exceso de agua	1,5	36,0	Exceso de agua
1,75	35,0	Exceso de agua	1,5	35,0	Seco
1,75	34,0	Exceso de agua	1,5	34,0	Seco
1,75	33,0	Exceso de agua	1,5	33,0	Interior caliente
Sub grupo 8			Sub grupo 9		
Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo	Distancia (m)	Temperatura (Celsius°)	Estado del hilo
1,25	37,0	interior caliente	1,0	37,0	interior caliente
1,25	36,0	interior caliente	1,0	36,0	interior caliente
1,25	35,0	interior caliente	1,0	35,0	interior caliente
1,25	34,0	interior caliente	1,0	34,0	interior caliente
1,25	33,0	Interior caliente	1,0	33,0	Interior caliente

Fuente: elaboración propia.

Las mediciones en la distancia se realizaron cada 0,25 m, suspendiendo los datos en el sub grupo 9, debido a las especificaciones de la maquinaria que indican que la tina de enfriamiento no puede ser menor a 1 m.

El filamento debe estar completamente seco para generar pellet sin poros, la tabla X indica que la temperatura del agua debe oscilar los 34 °C y 35 °C y la distancia de la tina de enfriamiento debe ser de 1,5 m.

2.8.4. Tipo de error en el proceso

Error de tipo I: (rechazar un lote de buena calidad) Se produce cuando el empleado o analista llega a la conclusión de que el proceso está fuera de control,

basándose en un resultado de muestreo ubicado fuera de los límites de control, cuando en realidad se trata de un defecto puramente aleatorio.⁵

Error de tipo II: (aceptar un lote de mala calidad) “Se presenta cuando el empleado concluye que el proceso está bajo control y que solo muestra discrepancias aleatorias, cuando en realidad dicho proceso está fuera de control estadístico.”⁶

La humedad en el pellet es una variación por causas especiales, debido a que no se cuenta con registro alguno de este tipo de irregularidad y es una situación poco común. Se puede confirmar el enunciado anterior, si existen puntos fuera de los límites del gráfico I-MR.

Se está cometiendo el error tipo II, debido a que, al no poseer un modelo de control de calidad, los fallos son prácticamente imperceptibles y la producción de pellet es aceptada. Pero la realidad es todo lo contrario, el producto no cumple con los estándares adecuados para ser comprado por el cliente.

⁵ CARRO PAZ, Roberto. *Control estadístico de procesos*. p. 9.

⁶ *Ibíd.*

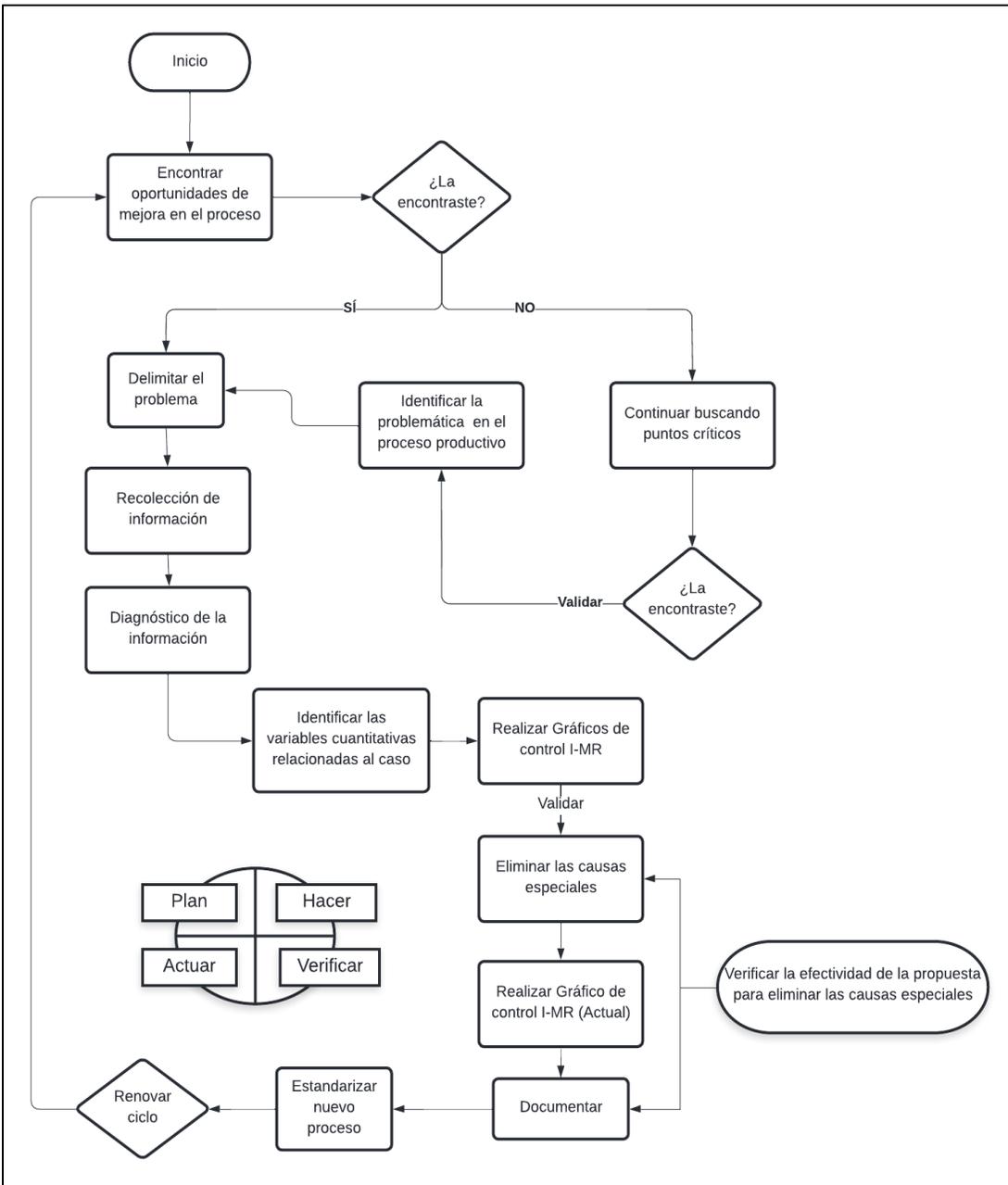
3. MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL PROCESO PRODUCTIVO

3.1. Modelo de gestión de calidad

Debido al error tipo II, la empresa necesita implementar un modelo de gestión de calidad que proporcione procedimientos de verificación más eficaces y exactos, dando lugar a la utilización de los gráficos de control por variables, en específico las cartas I-MR. Estos detectan hasta la más mínima variación en el proceso.

La figura 15 presenta una visual del paso a paso de cómo poner en marcha el modelo de gestión de calidad, su objetivo es promover la mejora continua, actuando mediante los principios de Deming.

Figura 15. Modelo de gestión de calidad para PP y PEBD



Fuente: elaboración propia, empleando lucidchart.

Para la elaboración del gráfico I-MR se necesitan tres ecuaciones para obtener el promedio y rango de los datos:

Promedio:

$$\bar{\chi} = \frac{\sum_{i=1}^m \chi_i}{m}$$

En donde:

χ_i = dato de la muestra i -ésima

m = número de subgrupos

Rango móvil:

$$R_i = |x_i - x_{i-1}|$$

Rango promedio:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m-1}$$

En donde:

R_i = amplitud de la muestra i -ésima

m = número de subgrupos

En este caso, para conocer las constantes estadísticas que se utilizarán en los límites de control, se empleará el orden del rango móvil.

Cálculo de límites:

$$\begin{array}{ll} LCS_{\bar{X}} = \bar{x} + 3\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right) & LCS_R = D_4 \bar{R} \\ LCC_{\bar{X}} = \bar{X} & LCS_R = \bar{R} \\ LCI_{\bar{X}} = \bar{x} - 3\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right) & LCS_R = D_3 \bar{R} \end{array}$$

3.2. Elaboración de los gráficos de control (actual)

La humedad interna y externa del pellet y la ruptura del hilo en la tina de enfriamiento son los dos problemas a desarrollar, por eso antes de elaborar sus respectivos gráficos, es necesario conocer con claridad cuáles son las características que están dando problemas en términos de producción y costos.

Otro elemento a tomar en cuenta en la elaboración de gráficos de control es que criterio se debe considerar para elegir el tamaño de los subgrupos. La opción más factible en esta situación es el método de lapso de tiempo, consiste en recolectar los datos en intervalos de cada hora, cada media hora, entre otros.

De acuerdo a Besterfield, en su libro *Control de la calidad*, al aumentar el tamaño de los subgrupos, los límites de control se aproximan al valor central, lo cual hace que el gráfico sea más sensible a pequeñas variaciones.

“Desde un punto de vista estadístico, una distribución de promedios de subgrupo \bar{X} , es casi normal para subgrupos de 4 o más.”⁷

⁷ BESTERFIELD, Dale H. *Control de calidad*. p. 190.

3.2.1. Línea de peletizado

En esta línea de producción es donde se aplicará el modelo de gestión de calidad, específicamente en la tina de enfriamiento, anteriormente se conocieron los motivos por los que, el pellet no cumple con las especificaciones de calidad solicitados, gracias a esto se puede elegir la característica de estudio y posteriormente recolectar los datos e información necesaria.

3.2.1.1. Característica de estudio

El primer factor al cual se aplicará el modelo de gestión de calidad es a la humedad interna y externa del pellet. Para ello se tomará como característica de estudio la temperatura.

El grafico I-MR mostrará si la temperatura es la causante de un control estadístico inestable y de un diseño inconforme del producto final.

Los datos de la temperatura se manejan en grados celcius °C.

3.2.1.2. Registro y tabulación de los datos

El registro de datos permitirá tener un control de la temperatura en la tina de enfriamiento, como se trata de datos que se utilizarán en el gráfico de individuales, no tiene lógica que los subgrupos sean mayores a uno, porque, si se miden las temperaturas de manera consecutiva, estas serán prácticamente las mismas, y la muestra será de 24 mediciones en un lapso de una hora entre ellas, obtenidas en 3 días.

Tabla XI. **Temperatura en la tina de enfriamiento (actual)**

No. muestra	Temperatura °C	Rango móvil	No. muestra	Temperatura °C	Rango móvil
1	34,8		13	38,4	1,6
2	36,5	1,7	14	40,3	1,9
3	34,7	1,8	15	41,5	1,2
4	38,4	3,7	16	40,1	1,4
5	37,5	0,9	17	37,1	3,0
6	33,2	4,3	18	40,5	3,4
7	39,3	6,1	19	37,0	3,5
8	35,7	3,6	20	38,3	1,3
9	37,9	2,2	21	38,5	0,2
10	35,0	2,9	22	39,9	1,4
11	37,8	2,8	23	41,5	1,6
12	40,0	2,2	24	43,9	2,4

Fuente: elaboración propia.

El rango móvil permite controlar la variación del proceso, se utiliza únicamente cuando los datos son individuales y no pertenecen a sub grupos. La primera iteración se obtuvo de la siguiente manera:

$$R_1 = |34,8 - 36,5|$$

$$R_1 = 1,7$$

Cada muestra se tomó en intervalos de una hora durante 4 días, hasta completar las 24 mediciones de temperatura.

$$\bar{\chi} = 38,24$$

$$\bar{R} = 2,39$$

En donde $\bar{\chi}$ es el promedio de las veinticuatro mediciones de temperatura, \bar{R} es el promedio del rango móvil.

3.2.1.3. Cálculo de límites de control

$$\begin{aligned}LCS_{\bar{x}} &= 38,24 + 3\left(\frac{2,39}{1,128}\right) & LCS_R &= 3,267(2,39) \\LCC_{\bar{x}} &= 38,24 & LCS_R &= 2,39 \\LCI_{\bar{x}} &= 38,24 - 3\left(\frac{2,39}{1,128}\right) & LCS_R &= 0(2,39)\end{aligned}$$

3.2.1.4. Interpretación del gráfico I-MR

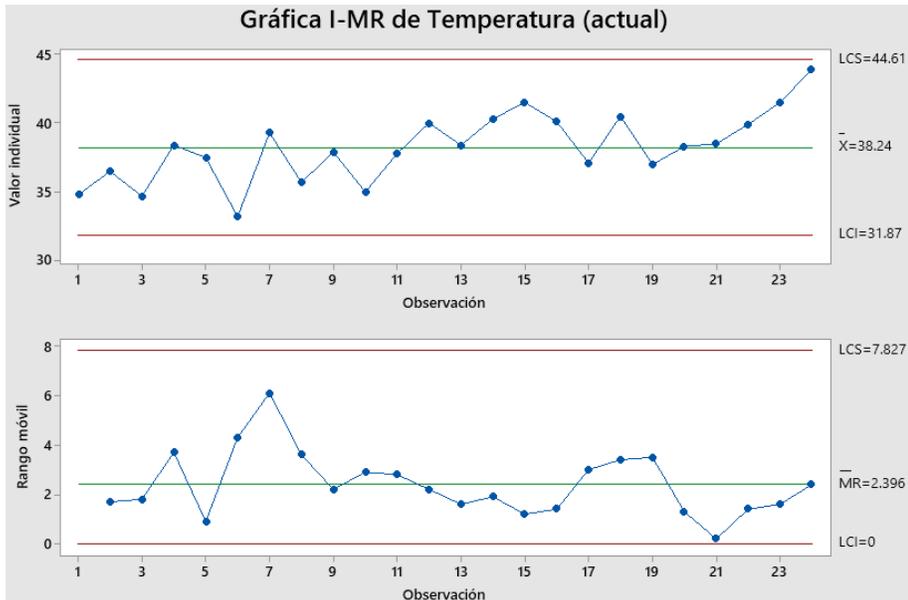
En el gráfico de control obtenido en la figura 16, no hay puntos fuera de los límites de control. Sin embargo, cuando se identifica un patrón en la gráfica, se considera que el proceso está fuera de control estadístico. Tal y como se muestra en las mediciones 19-24, en donde hay una tendencia ascendente.

La tendencia ascendente representa “deterioro o desajuste del equipo de producción, desgaste de las herramientas de corte, acumulación de productos de desperdicio en las tuberías, calentamiento de máquinas, cambios graduales en las condiciones del medio ambiente.”⁸

El proceso se ve claramente desfasado, porque la temperatura promedio que muestra la gráfica es de 38,24 °C y la teoría indica que el valor debe estar en el rango de 34 °C y 35 °C.

⁸ GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto; DE LA VARA SALAZAR, Román. *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. p. 200.

Figura 16. **Gráfica I-MR de individuales (actual)**



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab.

El gráfico de rango móvil “se ha usado como complemento a la carta de individuales y grafica el rango móvil de orden dos para detectar cambios en la dispersión del proceso.”⁹ En este caso se observa que todos los puntos están dentro de los límites de control y no hay ningún tipo de patrón, lo que indica que el proceso es estable en cuanto a variabilidad se refiere e inestable en tendencia central.

3.3. Eliminación de causas especiales

La tendencia ascendente que presenta el gráfico de individuales, es debido a causas especiales, originados por el desajuste en el equipo en la tina de enfriamiento.

⁹ GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad*. p. 120.

Para eliminar las causas especiales, es necesario acondicionar la tina de enfriamiento, reduciendo la longitud de 3,0 m a 1,5 m y nuevamente hacer las mediciones de temperatura para verificar que el proceso se encuentre en control estadístico.

Tabla XII. **Condiciones ideales en la tina de enfriamiento**

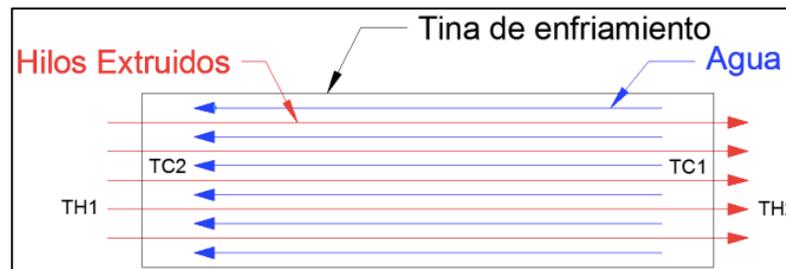
Condiciones ideales en la tina de enfriamiento	
Distancia de la tina	1,5m
Temperatura del agua	34-35 Celsius °C

Fuente: elaboración propia.

3.3.1. **Diseño de la tina de enfriamiento en la línea de peletizado**

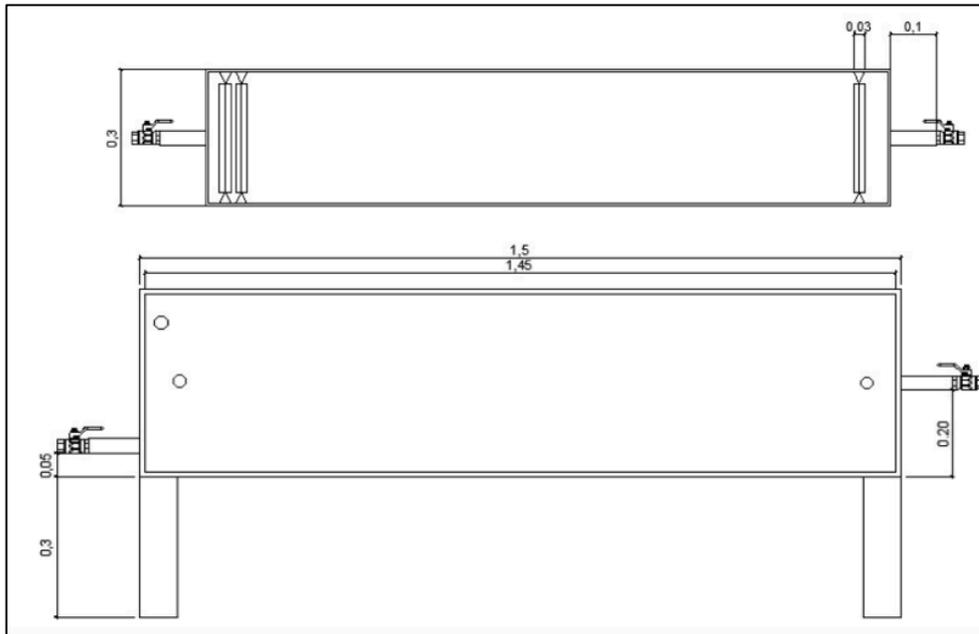
El nuevo diseño en la tina de enfriamiento aumentará la eficiencia de los procesos productivos.

Figura 17. **Sistema de enfriamiento de los hilos extruidos**



Fuente: COBOS MALDONADO, Christian Mauricio. *Diseño de un sistema de extrusión-peletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la empresa municipal de la ciudad de Cuenca Emac.* p. 126.

Figura 18. **Diseño de la tina de enfriamiento**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.4. **Elaboración de los gráficos de control (mejorado)**

La figura 18 muestra las dimensiones adecuadas de la tina de enfriamiento. Para fines de recolección de datos, se procedió a colocar una lámina de metal para delimitar la distancia de 3 m a 1,5 m.

Tabla XIII. **Temperatura en la tina de enfriamiento (mejorado)**

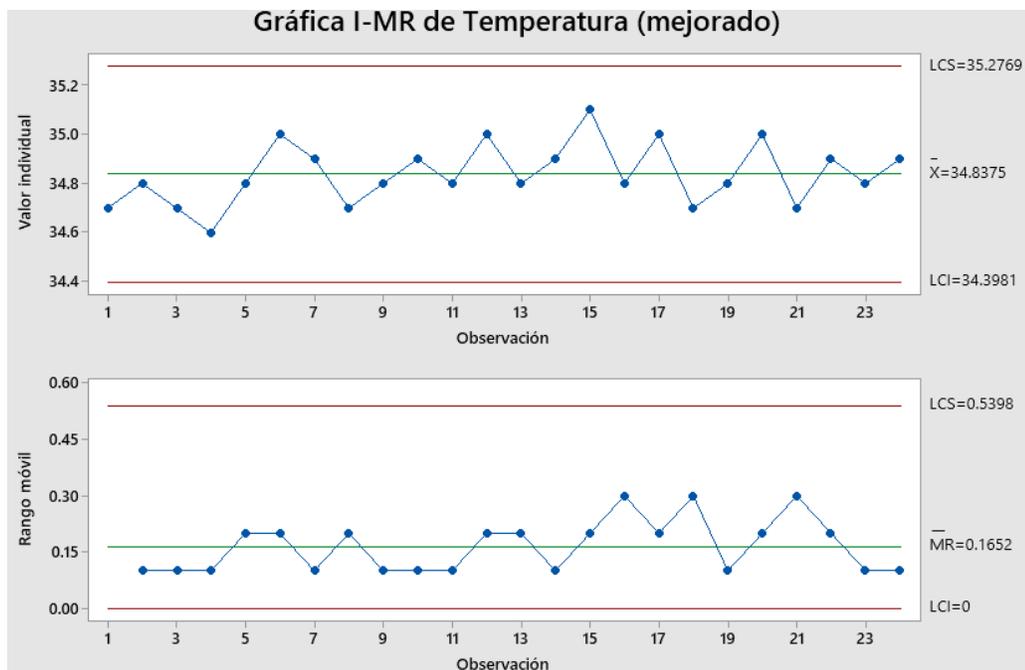
No. muestra	Temperatura °C	Rango móvil	No. muestra	Temperatura °C	Rango móvil
1	34,7		13	34,8	0,2
2	34,8	0,1	14	34,9	0,1
3	34,7	0,1	15	35,1	0,2
4	34,6	0,1	16	34,8	0,3
5	34,8	0,2	17	35,0	0,2

Continuación de la tabla XIII.

6	35,0	0,2	18	34,7	0,3
7	34,9	0,1	19	34,8	0,1
8	34,7	0,2	20	35,0	0,2
9	34,8	0,1	21	34,7	0,3
10	34,9	0,1	22	34,9	0,3
11	34,8	0,1	23	34,8	0,1
12	35,0	0,2	24	34,9	0,1

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Gráfica I-MR de individuales (mejorado)**



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab.

En este caso se ve un notable cambio en la media de la temperatura, siendo de 34,8 °C, tanto en el gráfico de individuales como en el de rango móvil, no se

visualiza ningún punto fuera de los límites de control y tampoco alguna tendencia en las mediciones.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN EL PROCESO PRODUCTIVO

4.1. Autorización del modelo por parte de gerencia

Para dar paso a la autorización, es suficiente con mostrar de forma concisa la problemática dentro de la línea de producción e indicar la solución propuesta, junto con los beneficios y costos que implicará para la empresa.

Tabla XIV. Descripción del modelo de gestión de calidad

MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE PP Y PEBD	
Problema raíz	El pellet tiene poros en su interior a causa de la presencia de humedad en el peletizado. Debido a este problema no se puede cumplir con los requerimientos de calidad del cliente, dificultando la venta de pellet PP y PEBD
Área de Estudio	El problema proviene de la línea de peletizado, específicamente en la tina de enfriamiento. Tanto la temperatura del agua como el tiempo en que el hilo permanece sumergido, deben ser los correctos para asegurar la calidad del pellet.
Idea objetivo	Tener un diagnóstico confiable sobre el estado actual del proceso de producción del pellet y prever posibles fallos.
Modelo de calidad	El modelo consiste en la aplicación de control estadístico a través de gráficos de control. De esta forma reducir la variabilidad del proceso y reducir las devoluciones por parte del cliente.
Personal y Materiales	Minitab es el programa que permitirá realizar los gráficos de control y diagramas de Pareto. Los involucrados será el personal operativo, jefes y supervisores de producción.
Alcance del modelo	El modelo está enfocado en el pellet de PP y PEBD, pero se puede aplicar a toda clase de polímeros.
Costos de implementación	Costos de calidad total: prevención, evaluación, fallas internas y externas
Beneficios	Poseer un sistema de gestión de calidad dentro de la planta, mostrar las fuentes de variación, detectar futuros problemas, indicar si es necesario ajustar un proceso o si se debe dejar tal y como está.

Fuente: elaboración propia.

4.2. Costo de calidad total

Reducir los costos es igual a un cliente insatisfecho, aumentar los costos es equivalente a un cliente satisfecho. Los costos de calidad total se dividen en cuatro categorías:

- Costos de prevención
- Costos de evaluación
- Costos de fallas internas
- Costos de fallas externas

Los costos de prevención y de evaluación son una inversión para la empresa mientras que los costos de fallas internas y externas son pérdidas.

Tabla XV. **Costos de calidad**

COSTOS DE CALIDAD					
Del 1 de julio al 30 de septiembre del 2020					
Costos				Porcentaje respecto a ventas	
Ventas	Q	200,000.00	Q	200,000.00	
Costos de prevención					
Capacitación	Q	3,500.00			1,8 %
Control de procesos	Q	3,500.00	Q	7,000.00	1,8 %
Costos de evaluación					
Inspección de proceso	Q	3,000.00			1,5 %
inspección de P.T	Q	3,400.00			1,7 %
Evaluación del equipo	Q	5,400.00	Q	11,800.00	2,7 %
Costo por fallas externas					
Productos devueltos	Q	13,000.00	Q	13,000.00	6,5 %
Costo por fallas internas					
Reproceso	Q	4,000.00	Q	4,000.00	2,0 %
Total costo de calidad	Q	35,800.00			17,9 %

Fuente: elaboración propia.

Para el tercer trimestre del año 2020 se obtiene que los costos de calidad total son de Q 35 800,00 que representa el 17,9 % del importe total de las ventas. Tanto los costos de evaluación y por fallas externas tienen mayor participación con 5,9 % y 6,5 % respectivamente.

Los costos de calidad total se reducirán cuando se invierta en prevención y evaluación, dando paso a la reducción de fallas internas y externas, que son las responsables de las devoluciones del producto y de los reprocesos.

4.3. Seguimiento del sistema de gestión de calidad en el proceso productivo

El recurso humano es el más importante dentro de una empresa, un rendimiento positivo es capaz de alcanzar los objetivos organizacionales, aumentar la productividad, disminuir costos, tiempo y sobre todo garantizar que el producto cumple con el estándar de calidad solicitado por el cliente.

4.3.1. Plan de capacitación y asignación de responsabilidades al personal

El objetivo es aumentar las habilidades y conocimientos de los involucrados, de esta forma asegurar el correcto uso del modelo de gestión de calidad. Es necesario trabajar en conjunto con; gerente de producción, jefe de sección de producción y operarios.

4.3.1.1. Gerente de Producción

El gerente tiene consigo la responsabilidad de asegurar el cumplimiento de los objetivos estratégicos referentes al modelo de gestión de calidad para la línea de peletizado.

- Consolidar el equipo de trabajo mediante la evaluación de puestos
- Asegurar que cada miembro cumpla con el perfil solicitado para ocupar el puesto de trabajo.
- Realizar un programa de inducción dirigido al personal que se incorpora a la sección de producción. Indicando el correcto uso y manipulación de la maquinaria.
- Efectuar las decisiones finales con respecto al análisis de los gráficos de control.

4.3.1.2. Jefe de Sección de Producción

El plan de capacitación consta de tres talleres:

- Taller 1: explicación del modelo de gestión de calidad y como beneficiará la productividad en la producción de pellet de PP y PEBD.
- Taller 2: uso del control estadístico con el programa Minitab, conjunto con hojas de cálculo.
- Taller 3: elaboración e interpretación de gráficos de control.

Dentro de las responsabilidades se encuentran:

- Asegurar el estándar de calidad en el pellet
- Elaboración e interpretación de los gráficos de control
- Realizar informes destinados al gerente de producción

4.3.1.3. Operario en línea de peletizado

La capacitación del operario es clave para consolidar el modelo de calidad para el pellet de PP y PEBD, la inducción consiste en:

- Montaje del PP y PEBD en la peletizadora
- Manipulación de la peletizadora y tina de enfriamiento
- Control y ajuste de la maquinaria
- Especificaciones de temperatura y medida en la tina de enfriamiento

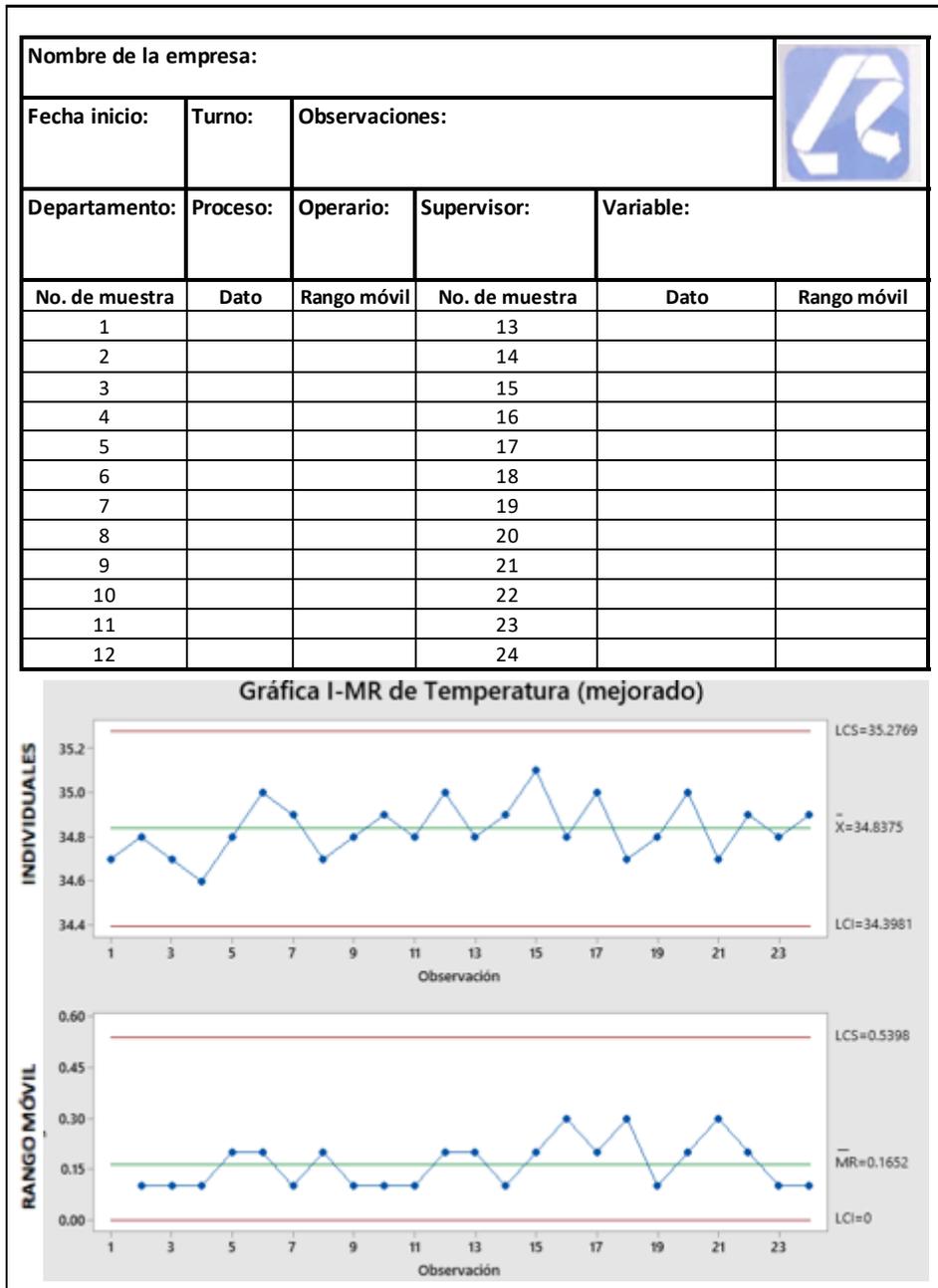
4.4. Documentación del modelo de gestión de calidad

Documentar el modelo de gestión de calidad permite crear una base de datos con la información necesaria para brindar soporte a la organización para planificar actividades productivas, generar un histórico sobre eventos, registrar variables cuantitativas, antecedentes de problemáticas, mediciones, elaboración de reportes, desarrollar indicadores de desempeño y en la toma de decisiones.

4.4.1. Plantilla de documentación

La plantilla proporciona un formato básico para incluir de forma detallada cada uno de los pasos para la elaboración de gráficos de control.

Figura 20. Plantilla de recolección de datos



Fuente: elaboración propia.

El documento de registro de información comienza con la fecha en la que se inicia la toma de mediciones en el proceso, turno en el que se están realizando la prueba, nombre del operario a cargo, departamento al que pertenece, indicar si los datos son obtenidos en la línea de lavado o peletizado, identificación del supervisor en curso y por último indicar la variable seleccionada.

En la casilla de observaciones se anotan todos aquellos datos relevantes que pueden afectar al proceso. Con veinticuatro muestras es suficiente para mostrar una tendencia en el gráfico.

4.5. Cronograma de trabajo para la implementación del modelo

En el cronograma se desglosan todas las actividades necesarias para aplicar el modelo de gestión, el plan está formado por cuatro etapas; las dos primeras de diagnóstico, capacitación e implementación.

Figura 21. Cronograma de actividades

				CRONOGRAMA DE TRABAJO										
				ABRIL				MAYO						
ACTIVIDAD	INICIO	FINAL	INVOLUCRADOS	1 al 9	10 al 16	17 al 23	24 al 30	1 al 7	8 al 14	15 al 21	22 al 28	29 al 31		
ETAPA I DIAGNOSTICO ORGANIZACIONAL														
1.1 Reunión de evaluación Requerimientos del cliente	1/4/22	1/4/22	Gerente de producción, Jefes y supervisores de área	■										
1.2 Reunión de evaluación del modelo de gestión de calidad	4/4/22	8/4/22	Gerente de producción, jefes y supervisores de área	■	■									
1.3 Creación de un nuevo plan estratégico	11/4/22	13/4/22	Gerente de producción y gerencia general		■	■								
1.4 Reunión final, aclarar y establecer puntos propuestos	14/4/22	15/4/22	Gerente de producción, Jefes y supervisores de área			■								
ETAPA II DIAGNOSTICO DE IMPLEMENTACIÓN														
2.1 Análisis de puestos y evaluación de perfil	18/4/22	25/4/22	RR.HH y Gerente de producción			■	■							
2.2 Cambios y acondicionamiento en la línea de peletizado	26/4/22	6/5/22	Técnico de producción, supervisor de sección				■	■	■					
ETAPA III CAPACITACIÓN														
3.1 TALLER: Explicación del modelo de gestión de calidad y como aumentará la productividad en la producción de pellet de PP y PEBD	9/5/22	11/5/22	Jefe de sección de producción, supervisor e Instructor de taller						■					
3.2 TALLER: Uso del control estadístico en programa Minitab, conjunto con hojas de cálculo	12/5/22	13/05/22	Jefe de sección de producción, supervisor e Instructor de taller						■					
3.3 TALLER: Elaboración e interpretación de gráficos de control	16/5/22	17/5/22	Jefe de sección de producción, supervisor e Instructor de taller							■				
3.4 Manejo y uso adecuado de la maquinaria en la línea de peletizado	18/05/22	20/5/22	Jefe de sección de producción, supervisor e Instructor de taller							■	■			
ETAPA IV IMPLEMENTACIÓN														
4.1 Puesta en marcha del modelo de gestión de calidad	23/5/22	26/5/22	Gerente de producción, jefe de sección, supervisor y operarios								■			
4.2 Instructivos en cada área de trabajo	27/5/22	30/5/22	Supervisor								■			
4.3 Aplicación de mejora continua PDCA	31/5/22	Gerente de producción									■		

Fuente: elaboración propia.

5. CICLO DE MEJORA CONTINUA PDCA APLICADO AL MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD

El ciclo PHVA desarrolla de manera objetiva y profunda un plan (planificar); éste se prueba en pequeña escala o sobre una base de ensayo tal como ha sido planeado (hacer); se analiza si se obtuvieron los efectos esperados y la magnitud de los mismos (verificar); y de acuerdo con lo anterior se actúa en consecuencia (actuar)¹⁰.

El modelo de gestión de calidad está sujeto a las variaciones de su entorno, por ende, es necesario el ciclo de mejora continua para examinar si es necesario realizar algún cambio o elaborar una propuesta que genere mayores beneficios que la metodología actual.

5.1. Planificar

Esta etapa organiza de forma objetiva las actividades, personas involucradas, recursos y fechas que posteriormente en la segunda fase del ciclo, se estarán concretando y ejecutando.

5.1.1. Actividades asignadas a la mejora continua

Las actividades comienzan cuando se encuentra una oportunidad de mejora, la gestión debe hacerse un problema a la vez, por ende, si existen varias problemáticas, hay que priorizar cuál de ellas es la más relevante dentro de la organización.

¹⁰ GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. p.13.

Conocer el problema no es suficiente, es esencial recabar información por medio de fuentes primarias y secundarias, para tener un panorama global de los procesos y las posibles causas de variación.

Por último, analizar toda la información para detectar la causa raíz de la problemática y tomar la decisión de mejora. Los enunciados anteriores se ponen en marcha a través de las siguientes actividades:

Tabla XVI. **Planificación de PDCA**

Actividad	Recursos	Involucrados	Duración
Identificar y delimitar el problema		Gerente de producción	2 días
Recolección de información (datos, ideas, comentarios de los empleados y observación del proceso)		Supervisor de producción	8 días
Análisis y diagnóstico de la información obtenida	Diagramas de Pareto, regresión y gráficos	Supervisor de producción	3 días
Establecer las causas del problema	Diagrama causa y efecto	Supervisor de producción	1 día
Aplicar el modelo de gestión de calidad	Gráficos de control	Supervisor de producción y operarios	2 días

Fuente: elaboración propia.

El capítulo dos y tres, es un ejemplo conciso de la etapa de planificación. Demostrando que se necesita dar solución al problema de humedad en el pellet.

5.2. Hacer

En esta etapa se especifica la propuesta que dará solución a la problemática. El modelo de gestión de calidad es de gran ayuda en esta fase porque indica la situación actual del proceso y que tipo de acción realizar después de conocer si las causas son originadas por variaciones comunes o asignables.

Las propuestas de solución son únicas e irrepetibles, cada una se adapta a las necesidades y a la situación a convenir, no obstante, la empresa puede crear un histórico con esta información que servirá como fuente primaria de indagación en próximas investigaciones.

5.2.1. Propuesta de mejora en la producción de peletizado

La propuesta debe estar respaldada y argumentada por datos cuantitativos. Para la gerencia no tiene relevancia todas aquellas ideas que sean avaladas por suposiciones o intuiciones.

En algunos casos la propuesta llega a ser invalida incluso cuando tiene un excelente argumento lógico, esto es debido a los siguientes factores:

- Los objetivos no son realistas: la propuesta no está dentro de los recursos disponibles de la empresa.
- La propuesta tiene un nivel alto de complejidad: la idea pierde validez si no se puede transmitir de forma clara y directa a todos los involucrados.

5.2.2. Evaluación simultánea con la propuesta

Es recomendable comenzar la etapa de verificación durante la marcha de la propuesta, esto con el motivo de evaluar el avance desde una opinión crítica y tomar la decisión de continuar con el proceso o finalizarlo.

Se finaliza la propuesta cuando avanza el proyecto y se recopila información actualizada del PP y PEBD o de la maquinaria, y ésta ya no es compatible con

las especificaciones actuales. Las necesidades del cliente cambiaron, y el ciclo de mejora continua igualmente debe cambiar y renovarse.

5.3. Verificar

En esta etapa se corrobora la efectividad de la propuesta, comparando los resultados obtenidos versus los objetivos planteados. Esta comparación debe realizarse con indicadores de desempeño, análisis de beneficios y herramientas de evaluación del proceso.

5.3.1. Índice de inestabilidad

Este índice se realiza después de la elaboración de los gráficos de control, indica qué tan inestable es el proceso y valida si la variación es provocada por causas comunes o especiales. Su interpretación señala que 0 es el valor ideal y 100 levanta una alarma de proceso inestable.

$$S_t = \frac{\text{Número de puntos especiales}}{\text{Número total de puntos}} * 100$$

5.3.2. Efectividad de la propuesta

Para evaluar si la propuesta eliminó el punto fuera de control se debe elaborar de nuevo el gráfico de control e interpretar el resultado. De esta forma se puede validar que se cumpla la satisfacción del cliente.

Los factores a tomar en cuenta para validar la efectividad de la propuesta:

- Porcentaje de tareas terminadas

- Porcentaje de tareas retrasadas
- Porcentaje de tareas en proceso
- Hitos faltantes
- Rendimiento de la propuesta

5.4. Actuar

Esta última etapa se ejecuta según el resultado obtenido en la fase de verificación, en la que pueden presentarse dos casos que se dan a conocer a continuación:

- Caso 1: de ser exitoso el resultado, se prosigue a documentar toda la información, seguidamente estandarizar el proceso, difundir el nuevo método, capacitar, realizar cambios y reiniciar el ciclo PDCA.
- Caso 2: los resultados proyectan inconsistencias en ciertos aspectos de la propuesta, de ser así, se debe replantear la propuesta, corregirla y por último volver a verificar los resultados.

5.4.1. Estandarizar el nuevo proceso

La estandarización de un nuevo proceso logra mayor consistencia, eficiencia y menos errores durante la implementación. Es primordial documentar la información para uso de los miembros activos de la organización y futuros colaboradores.

La industria del reciclaje está en constante cambio, la implementación de nuevas tecnologías es el día a día de la organización y cada una de ellas debe ser aprobada y estandarizada para su correcta aplicación.

La estructura que debe tener el documento de estandarización de proceso, debe incluir:

- Representación gráfica del proceso
- Descripción detallada de las actividades
- Recursos: material y equipo
- Estudio de tiempos
- Descripción de los procedimientos
- Plantilla de recolección y registro de datos

5.4.2. Renovar el ciclo de mejora continua en el proceso productivo de pellet

El ciclo PDCA es repetitivo, dentro de la empresa siempre existirá una oportunidad de mejora que proporcionará ventaja competitiva.

Uno de los objetivos estratégicos de la empresa es la expansión y prospección de futuros clientes, esto conlleva a tener diferentes especificaciones y necesidades, que hay que satisfacer, lográndose con la mejora continua.

Se hace énfasis en la realización de un PDCA cíclico pero otro aspecto fundamental en la renovación del ciclo, es la retroalimentación.

CONCLUSIONES

1. El modelo de gestión de calidad está orientado a cumplir los requerimientos y necesidades del cliente en un 98 %, a través de la creación de oportunidades de mejora constante, mantenimiento preventivo, selección de perfiles laborales y un método confiable de detección y solución de fallos.
2. Del análisis y estudio de las especificaciones solicitadas por el cliente, el fallo con mayor magnitud es la presencia de humedad dentro del pellet, representando el 28,9 % (figura 13), el cual provoca la creación de poros en el interior del producto terminado.
3. La información obtenida mediante el diagnóstico en la línea de lavado, indica que el material *pots* consumo transformado en hojuelas, no es afectado por ningún factor interno o externo al proceso. Manteniendo su integridad en un 100 %. En esta sección, cada una de las actividades se controla de forma sistemática y minuciosa.
4. Los efectos negativos en la línea de peletizado es ocasionado por el incorrecto acondicionamiento que presenta la tina de enfriamiento, 3 m (tabla VIII), ocasionando rupturas y exceso de agua en el filamento de PP Y PEBD.
5. Los gráficos de control I-MR indican que la etapa de peletizado actualmente se encuentra fuera de control estadístico, alcanzando una temperatura promedio de 38,24 °C (figura 16), debido a las fluctuaciones

en la temperatura del agua en la tina de enfriamiento. De este modo se debe poner en marcha el plan de acción y evaluar la evolución del proceso en el tiempo.

6. Los poros dentro del pellet, son eliminados cuando la humedad es nula en los filamentos de PP y PEBD, brindando las condiciones ideales para que no presente rupturas y exceso de humedad, las cuales corresponden a 34 °C - 35 °C y 1,5 m (tabla XII).
7. El ciclo de mejora continua permite reducir los errores en el proceso productivo en un 99 %. Por medio de la reestructuración del plan estratégico mejorar la productividad y establecer estándares de calidad, siendo está la mayor ventaja competitiva ante un mercado de constante cambio e implementación de nuevas tecnologías, como es el caso de la industria de transformación de polímeros.

RECOMENDACIONES

1. Establecer metas comerciales para lograr la fidelidad del cliente, ofreciendo un producto con altos estándares de calidad. De esta forma se consolidarán las negociaciones y se aumentará la competitividad.
2. Aplicar inspecciones periódicas al producto terminado, antes de ser empaquetado y transportado a la bodega de almacenamiento. Esto garantizará que el pellet es apto para venderse al cliente.
3. Planificar actividades de mantenimiento industrial en el deshidratador, para eliminar las obstrucciones que se mencionan en el capítulo dos, si los orificios permanecen bloqueados, a largo plazo puede contribuir a la acumulación de vapor de agua en las hojuelas.
4. Introducción de mecanismos de enfriamiento, permitirá mantener la temperatura adecuada en la tina. Incorporando este elemento al proceso, aumentará la productividad en la línea de peletizado.
5. Respetar el ciclo de mejora continua PDCA, seguimiento del proceso de identificación de problemas, delimitación, planteamiento de objetivos, recopilación de datos, análisis de la información mediante herramientas de control de calidad, solución y por último aplicar el ciclo de mejora continua.

BIBLIOGRAFÍA

1. BESTERFIELD H, Dale. *Control de calidad*. 8a ed. México: Pearson Education, 2009. 287 p.
2. CANTÚ DELGADO, Humberto. *Desarrollo de una cultura de calidad*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2011. 166 p.
3. CARRO PAZ, Roberto; GONZÁLEZ GÓMEZ, Daniel. *Control estadístico de procesos*. Argentina: Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, 2012. 3 p.
4. CHYI YANG Industrial Co Ltd. *Máquina recicladora peletizadora corte en caliente (corte en cabezal)*. [en línea]. <<https://chyyang.com/es/product/cd-fdc-es/>>. [Consulta: 4 de abril de 2021].
5. ESTRADA, Carlos Enrique. *Implementación de un programa de control estadístico de la calidad en una empresa dedicada al ensamble de computadoras*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 131 p.
6. EVANS, James R; LINDSAY, William M. *Administración y control de la calidad*. 7a ed. México: Cengage Learning, 2008. 154 p.

7. GUEVARA ROCA, Dennis Stuardo. *Diseño de investigación para la readecuación de las condiciones de proceso, en la fabricación de pellet y película de alta y baja densidad reciclado, para reducir el consumo de agua y energía eléctrica*. Trabajo de Graduación de Ing. Electrónica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 37 p.
8. GUSTAVO LEÓN, Jefferson Guerra. *Máquina tensora y tina de enfriamiento para la Fabricación de mangueras con plástico reciclado*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Mecatrónica, 2017. 7 p.
9. GUTIÉRREZ PÚLIDO, Humberto. *Calidad total y productividad*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 2010. 216 p.
10. _____ . *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 184 p.
11. JUSTE, Irene. *¿Qué plásticos se reciclan y cuáles no?* [en línea]. <<https://www.ecologiaverde.com/que-plasticos-se-reciclan-y-cuales-no-1168.html>>. [Consulta: 4 de febrero de 2021].
12. La Red Reciclados Plásticos. *El proceso de reciclado de plástico*. [en línea]. <<http://www.recicladoslared.es/proceso-de-reciclaje-de-plasticos/>>. [Consulta: 10 de febrero de 2021].
13. MANSILLA ESCOBAR, Byron Ottoniel. *Control de calidad en la elaboración de productos de polietileno, regido por las normas ISO*

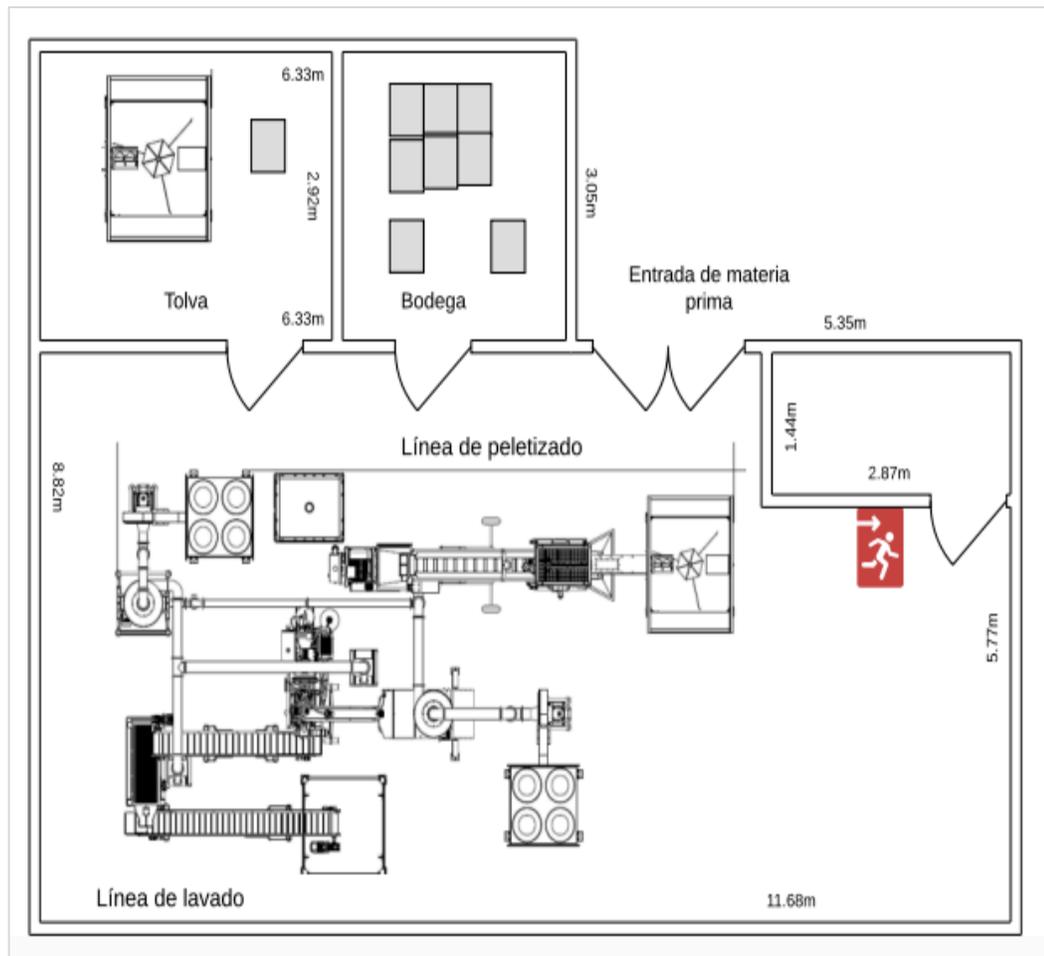
9001-2000. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 211 p.

14. MAZARIEGOS ALVARADO, Luis Fernando. *Control de calidad en el proceso de fabricación de puertas y ventanas de madera, para la realización de ensayos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 131 p.
15. MINISTERIO DE TRABAJO. *Guía de control estadístico del proceso y, determinación de causas comunes, / especiales y acciones correctivas*. [en línea]. <<https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/08/33-DSPI-17-Guia-de-control-estadistico-del-proceso-y-determinacion-de-causas.pdf>>. [Consulta: 10 de febrero de 2021].
16. PRIETO MÉNDEZ, Adrián. *¿Cómo aplicar control de calidad a los materiales reciclados?* [en línea]. <<https://www.pt-mexico.com/articulos/c%C3%B3mo-aplicar-el-control-de-calidad-a-los-materiales-reciclados>>. [Consulta: 3 de marzo de 2021].
17. Soluciones Globales para el Reciclaje. *¿Cómo se recicla el plástico?* [en línea]. <<http://www.recicladoslared.es/proceso-de-reciclaje-de-plasticos/>>. [Consulta: 15 de febrero de 2021].
18. URRUTIA LEAL, José Luis. *Diseño de un sistema de control de calidad en la producción de bolsas plásticas*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 117 p.

19. ZAVALETA, Marco. *¿Cómo determinar el grado de viscosidad de un plástico?* [en línea]. <<https://moldeoporinyeccion.com/como-determinar-el-grado-de-viscosidad-de-un-plastico/>>. [Consulta: 5 de abril de 2021].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Planta de producción en la elaboración de pellet**



Fuente: elaboración propia, empleando Lucidchart.

Apéndice 2. Línea de peletizado



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Recolección de datos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Inspección de pellet libre de poros**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Alimentador forzado: hojuelas de PP y PEBD**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Extrusor**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Hilos de PP y PEBD**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Tina de enfriamiento de 3m**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Producto final**

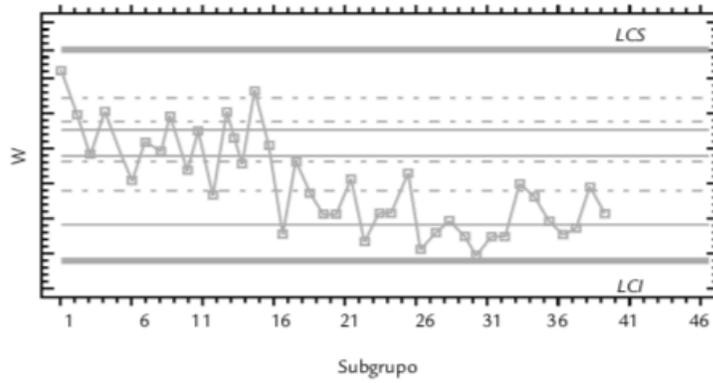


Fuente: elaboración propia.

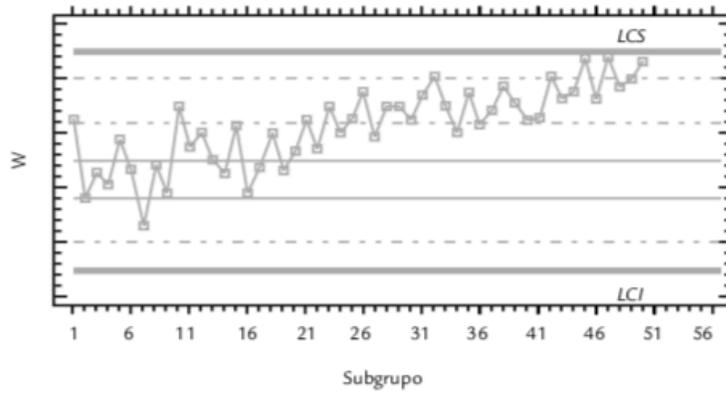
ANEXOS

Anexo 1. Patrones de inestabilidad en las cartas de control

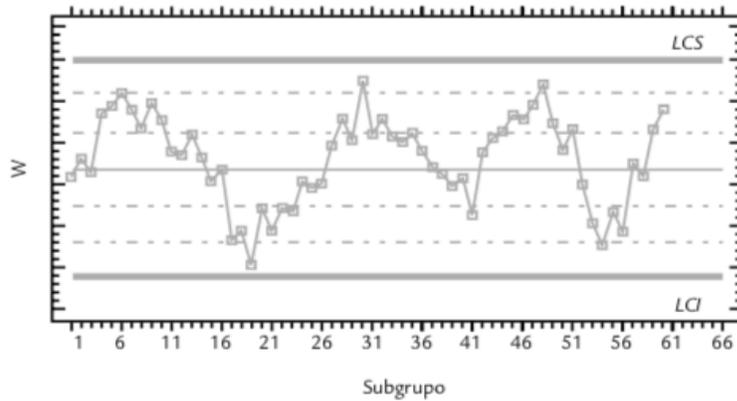
b) Cambio de nivel



c) Tendencia

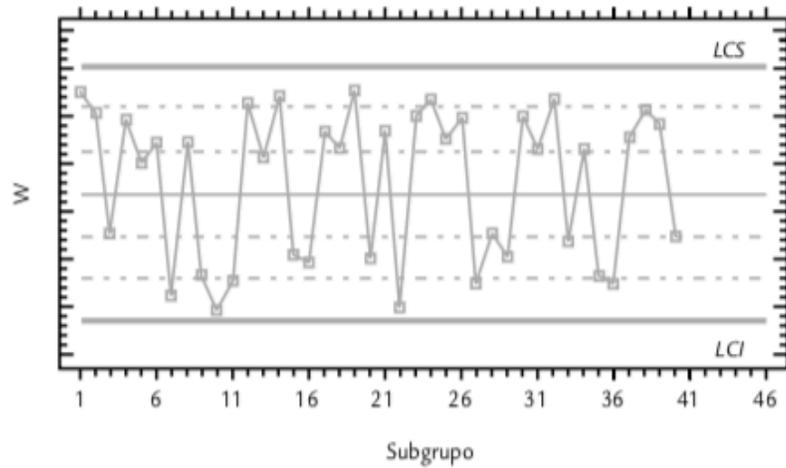


d) Ciclo

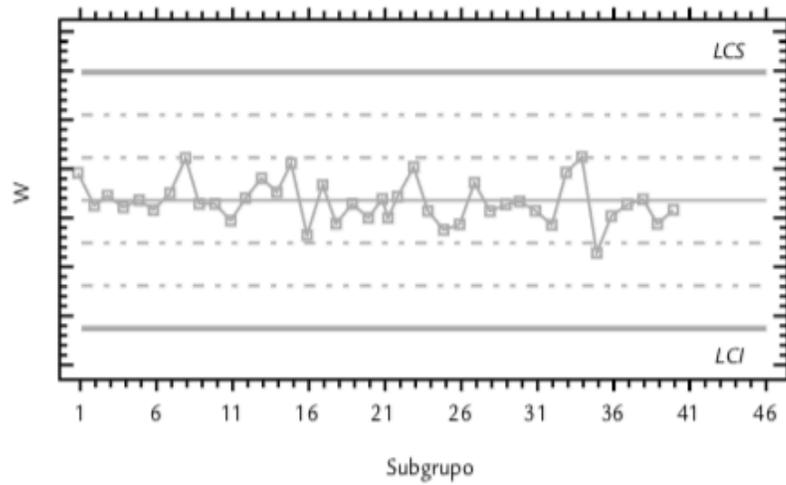


Continuación del anexo 1.

e) Alta variabilidad



f) Falta de variabilidad



Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto; DE LA VARA SALAZAR, Román. *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. p. 200.

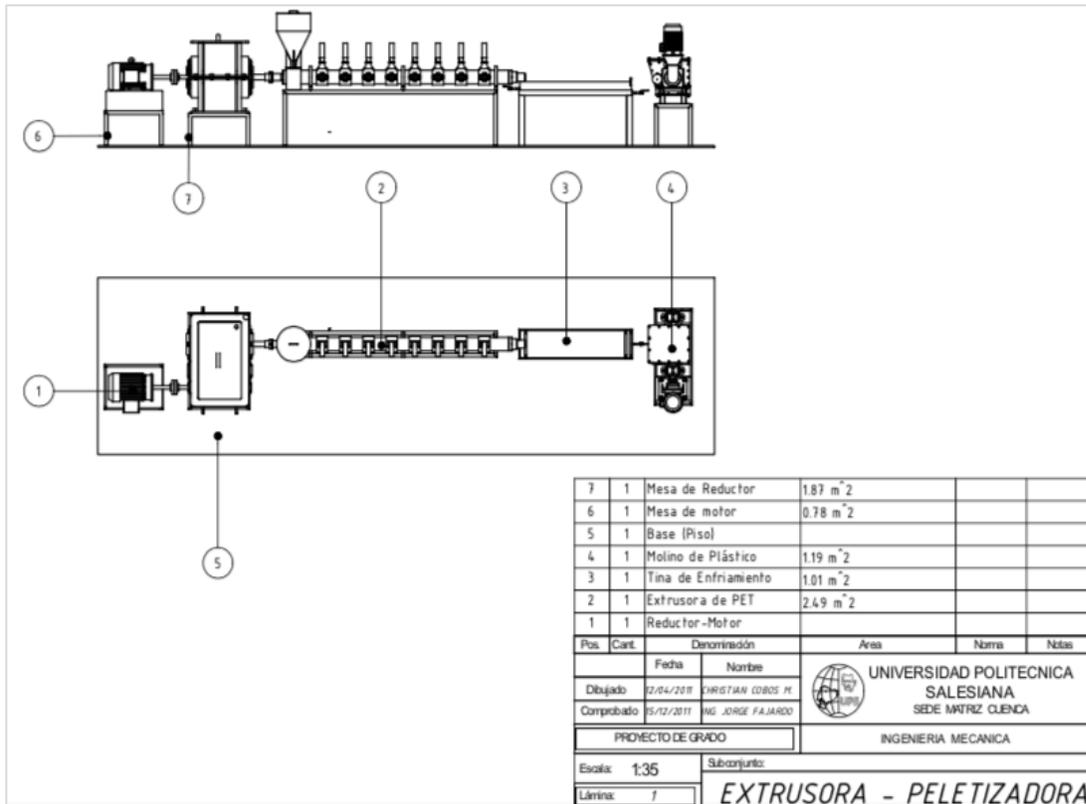
Anexo 2. Factores para la construcción de las cartas de control

TABLA A1. Factores para la construcción de las cartas de control.

TAMAÑO DE MUESTRA, n	CARTA \bar{X} A_2	CARTA R			CARTA S c_4	ESTIMACION DE σ d_2
		d_3	D_3	D_4		
2	1.880	0.853	0.0000	3.2686	0.7979	1.128
3	1.023	0.888	0.0000	2.5735	0.8862	1.693
4	0.729	0.880	0.0000	2.2822	0.9213	2.059
5	0.577	0.864	0.0000	2.1144	0.9400	2.326
6	0.483	0.848	0.0000	2.0039	0.9515	2.534
7	0.419	0.833	0.0758	1.9242	0.9594	2.704
8	0.373	0.820	0.1359	1.8641	0.9650	2.847
9	0.337	0.808	0.1838	1.8162	0.9693	2.970
10	0.308	0.797	0.2232	1.7768	0.9727	3.078
11	0.285	0.787	0.2559	1.7441	0.9754	3.173
12	0.266	0.778	0.2836	1.7164	0.9776	3.258
13	0.249	0.770	0.3076	1.6924	0.9794	3.336
14	0.235	0.763	0.3281	1.6719	0.9810	3.407
15	0.223	0.756	0.3468	1.6532	0.9823	3.472
16	0.212	0.750	0.3630	1.6370	0.9835	3.532
17	0.203	0.744	0.3779	1.6221	0.9845	3.588
18	0.194	0.739	0.3909	1.6091	0.9854	3.640
19	0.187	0.734	0.4031	1.5969	0.9862	3.689
20	0.180	0.729	0.4145	1.5855	0.9869	3.735
21	0.173	0.724	0.4251	1.5749	0.9876	3.778
22	0.167	0.720	0.4344	1.5656	0.9882	3.819
23	0.162	0.716	0.4432	1.5568	0.9887	3.858
24	0.157	0.712	0.4516	1.5484	0.9892	3.898
25	0.153	0.708	0.4597	1.5403	0.9896	3.931

Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto; DE LA VARA SALAZAR, Román. *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. p. 467.

Anexo 3. Factores para la construcción de las cartas de control



Fuente: GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto; DE LA VARA SALAZAR, Román. *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. p. 200.