



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

**PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO VIRGEN Y RECICLADO DE  
LÁMINA 2P PARA UNA EXTRUSORA HORIZONTAL DAVIS-FL**

**Diego José Aragón Prera**

Asesorado por el Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO VIRGEN Y RECICLADO DE  
LÁMINA 2P PARA UNA EXTRUSORA HORIZONTAL DAVIS-FL**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**DIEGO JOSÉ ARAGÓN PRERA**

ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL RAMÍREZ ORTÍZ.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, MARZO 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 Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Inga. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Jorge Iván Cifuentes Castillo
SECRETARIA	Inga Lesbia Magalí Herrera López.

## **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:

### **PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO VIRGEN Y RECICLADO DE LÁMINA 2P PARA UNA EXTRUSORA HORIZONTAL DAVIS-FL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 15 de enero 2021.

**Diego José Aragón Prera**

Guatemala, 04 de enero de 2022

Ingeniero

Gilberto Enrique Morales Baiza

Director de Escuela Mecánica

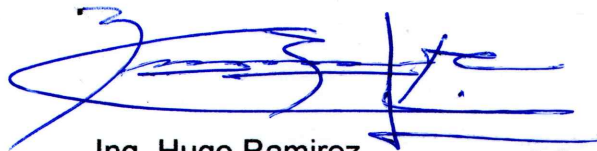
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Morales

De la manera mas atenta me dirijo a usted para comunicarle que se ha finalizado la etapa de asesoría y revisión del trabajo de graduación presentado por el estudiante Diego José Aragón Prera, quién se identifica con Registro Académico No: 2009-25299 y CUI 1710 58887 0101, titulado: PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO VIRGEN Y RECICLADO DE LÁMINA 2P PARA UNA EXTRUSORA HORIZONTAL DAVIS-FL”.

Dado lo anterior me permito extenderle mi aprobación para continuar con el proceso correspondiente.

Atentamente,



Ing. Hugo Ramirez

Colegiado No. 5545

Asesor de Tesis

**Ing. Hugo Ramirez**  
COL. No. 5545



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.010.2022

El Coordinador del Área de Materiales de Ingeniería de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO VIRGEN Y RECICLADO DE LÁMINA 2P PARA UNA EXTRUSORA HORIZONTAL DAVIS-FL** desarrollado por el estudiante: **Diego José Aragón Prera** con Registro Académico **200925299** y CUI **1710588870101** recomienda su aprobación.

***“Id y Enseñad a Todos”***



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador Área Materiales de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, enero 2022


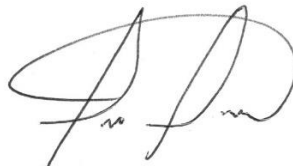
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.046.EIM.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica 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: **PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO VIRGEN Y RECICLADO DE LÁMINA 2P PARA UNA EXTRUSORA HORIZONTAL DAVIS-FL**, presentado por: **Diego José Aragón Prera**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, marzo de 2022

LNG.DECANATO.OI.0110.2022

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, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO VIRGEN Y RECICLADO DE LÁMINA 2P PARA UNA EXTRUSORA HORIZONTAL DAVIS-FL**, presentado por: **Diego José Aragón Prera**, 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, marzo de 2022

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y sabiduría para poder alcanzar esta meta.
<b>Mi madre</b>	Delia Prera, por su paciencia y amor incondicional.
<b>Mi padre</b>	Manfredo Aragón, por sus enseñanzas y consejos.
<b>Mi hermana</b>	Madelyn Aragón, por acompañarme en esta aventura.
<b>Mi abuelita</b>	Praxedes Ventura, por sus oraciones y su amor.
<b>Mis tíos</b>	Rosario Prera, Edgar Prera, Elías Prera, Sury Prera y Mauricio Prera, por ser un ejemplo a seguir.
<b>Mi esposa</b>	Helen Castañeda, por ser la base fundamental de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser fuente de inspiración
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por los conocimientos otorgados.
<b>Mis amigos</b>	Benjamín Rivera y Fredy Fernandez, por la trayectoria de respeto y compañerismo
<b>Mi asesor</b>	Hugo Ramirez, por ser una influencia importante en mi carrera y por sus enseñanzas.
<b>Ing. Carlos Pérez</b>	Por su entrega y apoyo incondicional hacia los alumnos de nuestra gloriosa escuela.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1.    PARAMETROS DE LÁMINA EXTRUIDA.....	1
1.1.    Espesor .....	1
1.2.    Peso .....	3
1.3.    Celdas .....	4
2.    PROCESOS DE MANUFACTURA EN LOS POLÍMEROS .....	5
2.1.    Tipos de polímeros .....	5
2.2.    Inyección .....	10
2.3.    Vaciado.....	12
2.4.    Rotomoldeo .....	13
2.5.    Termoformado .....	15
2.6.    Calandrado .....	16
2.7.    Soplado .....	19
2.8.    Extrusión.....	20
2.8.1.    Proceso de extrusión .....	21
2.8.2.    Condiciones ideales y constantes.....	22
2.8.3.    Condiciones variables.....	24

2.8.3.1.	Temperatura del punto de fusión del material.....	25
2.8.3.2.	Expansión del material .....	25
2.8.4.	Producto final .....	25
2.8.4.1.	Calandrado.....	27
2.8.4.2.	Láminas.....	28
2.8.4.3.	Rollo .....	29
3.	PROPORCIONES DE MATERIALES .....	31
3.1.	Composición de la mezcla .....	31
3.1.1.	Poliestireno virgen.....	31
3.1.2.	Poliestireno peletizado .....	32
3.1.3.	Poliestireno molido .....	33
3.2.	Proporciones de la mezcla .....	33
3.3.	Propiedades según proporciones.....	34
4.	EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD SEGÚN PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO .....	35
4.1.	Proporción óptima de la mezcla .....	35
4.2.	Espesor .....	36
4.3.	Peso .....	37
4.4.	Celdas .....	37
	CONCLUSIONES.....	39
	RECOMENDACIONES .....	41
	BIBLIOGRAFÍA.....	43
	ANEXOS.....	45

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Espesor de la lámina extruida .....	2
2.	Aplicaciones y usos.....	2
3.	Corte frontal de un dado de extrusión, aumento de una celda.....	4
4.	Formas básicas de diferenciar a los polímeros .....	9
5.	Molde para vaciado, procesando una manzana con silicón .....	13
6.	Materiales utilizados para moldes en Rotomoldeo.....	15
7.	Características que influyen en el termoformado .....	16
8.	Esquema de un proceso de calandrado.....	18
9.	Tipos de inyección y soplado .....	19
10.	Tornillo extrusor .....	20
11.	Extrusora DAVIS-FL horizontal .....	21
12.	Puntos críticos de control de temperatura.....	22
13.	Parámetros y variables de monitoreo para condiciones ideales de trabajo .....	23
14.	Producto final en rodillos compactadores de estiramiento .....	26
15.	Diagrama para control de calidad del producto final .....	26
16.	Área de compresión .....	27
17.	Láminas de polímero procesado .....	28
18.	Rollos embalados para la venta .....	29
19.	Poliestireno peletizado .....	32
20.	Propiedades esperadas según la proporción .....	34

## TABLAS

I.	Peso del material con relación de láminas y espesor estimados.....	3
II.	Tipos de polímeros .....	6
III.	Partes críticas de control en la extrusora para garantizar la inyección constante a temperatura eficiente .....	11
IV.	Etapas en el proceso .....	17
V.	Proporciones ideales de la mezcla .....	33
VI.	Proporción óptima de la mezcla.....	35
VII.	Comparación de espesor del producto final versus el producto original .....	36
VIII.	Comparación del peso de un rollo trabajado con material reciclado y versus un rollo con alta condensación de material virgen.....	37

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>Cm</b>	centímetro
<b>GPa</b>	Gigapascales
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kV</b>	Kilovoltio
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>MPa</b>	Megapascales
<b>m/s</b>	Metro sobre segundo
<b>mm</b>	Milímetro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metro cúbico por hora
<b>Nm</b>	Newton-metro
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno
<b>ft/s</b>	Pies sobre segundo
<b>%</b>	Porcentaje
<b>psi</b>	<i>Pound force per square inch</i>
<b>pulg</b>	Pulgadas
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>Fe</b>	Símbolo del elemento químico hierro
<b>ton</b>	Tonelada





## GLOSARIO

<b>Biodegradable</b>	Es el producto o sustancia que puede descomponerse en sus elementos químicos que los conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.
<b><i>Bunker</i></b>	Combustible que normalmente proviene de la primera etapa del proceso de refinación o destilación atmosférica, viscoso y con alto contenido energético, lo cual lo hace apto para ser usado en calderas, hornos y en las plantas de generación eléctrica.
<b>Calentamiento global</b>	Se refiere al aumento gradual de las temperaturas de la atmósfera y océanos de la Tierra que se ha detectado en la actualidad, además de su continuo aumento que se proyecta a futuro.
<b>Contaminación</b>	Pertenencia de cualquier impureza material o energética, en un medio a niveles superiores a los normales.
<b>Confiabilidad</b>	Probabilidad de que una parte de la maquina o equipo esté funcionando adecuadamente en un momento preciso y bajo circunstancias definidas.

<b>Demanda</b>	Hace referencia a la cantidad de productos o servicios que se solicitan o se desean en un determinado mercado de una economía a un precio específico.
<b>Desgaste</b>	Partículas pequeñas de material producidas por el rozamiento de dos superficies en contacto.
<b>Evaluación</b>	Valoración de conocimientos, actitud y rendimiento de una persona o de un servicio.
<b>Lubricación</b>	Tarea con el fin de controlar el desgaste entre dos superficies.
<b>Merma</b>	Disminución o reducción del volumen o la cantidad de una cosa.
<b>Monitoreo</b>	Proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada
<b>Meta</b>	Objetivo o propósito a alcanzar.
<b>Orden de trabajo</b>	Instructivo en el cual se describe las tareas de mantenimiento a realizar por el departamento de mantenimiento.

**Tiempo muerto**

Tiempo en el cual se detiene el proceso productivo.

**Tolerancia**

Diferencia dimensional entre un agujero y un eje.



## RESUMEN

El presente trabajo sustentará el estudio sobre la necesidad de reutilizar o reciclar el plástico que surge por encontrar la proporción óptima de Poliestireno virgen y reciclado de lámina 2P para una extrusora horizontal DAVIS-FL, la idea principal o el objetivo general es poder encontrar el resultado necesario que logre cumplir con los estándares de calidad del producto, eso a su vez, que no se vea afectada mientras la cantidad de material reciclado sea dosificado en mayor proporción, así lograr disminuir el costo de operación por fabricación, además se buscará desarrollar la estrategia necesaria para disminuir el impacto ambiental.

Para realizar el análisis sobre la propuesta, se iniciará con una investigación sobre la extrusión del Poliestireno a través de los manuales del fabricante de la maquinaria, se reforzará con el conocimiento operativo del personal que interactúa con la misma, se apoyará la investigación en libros de procesos de manufactura, el recurso de mayor empleo será el internet, con todas estas acciones, criterios y experiencias se espera lograr crear el criterio correcto para las futuras tomas de decisiones.

A través de la investigación se desarrollará el análisis del proceso de extrusión definiendo las variables que afectan el equipo principal y da como resultado las propiedades a una lámina con parámetros específicos.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la proporción óptima de poliestireno virgen y reciclado de lámina 2p para una extrusora horizontal Davis -FI.

### **Específicos**

1. Describir las propiedades del poliestireno expandido para la lámina 2P para versatilidad y facilidad de conformado para la fabricación de productos plásticos.
2. Determinar cómo afecta la propiedad de la humedad en la utilización de polímero virgen en relación con el polímero reciclado.
3. Identificar las variables de calidad de la lámina según el cambio en las proporciones de material virgen y reciclado, para su facilidad de manejo.
4. Realizar un análisis comparativo de la calidad de la lámina 2P según las proporciones experimentales con relación al producto original.
5. Evaluar los parámetros de calidad de la proporción el Poliestireno virgen y reciclado en función de la resistencia, humedad ligereza.





## INTRODUCCIÓN

En la actualidad en Guatemala, ha llegado la era del reciclaje y de disminuir el consumo de productos innecesarios, es en este punto en el que se hace necesario que la industria se involucre para dar soluciones y así evitar que la contaminación pueda llegar a ser irreversible para el planeta. Los polímeros son parte de esta contaminación, desde el punto de vista de que la degradación toma un tiempo muy prolongado y es aquí donde se deben intensificar los controles y estudios del uso de los polímeros.

En la industria también es muy importante la reducción de costos, el aprovechamiento de las materias primas es uno de estos, y es en este punto en el que se unen el interés de no contaminar con el ser eficientes en la producción, dado a que el aprovechamiento de las materias primas está relacionado directamente con el reproceso de la merma de la producción, así como el reproceso de productos ya utilizados.

Los productos derivados de los polímeros son parte de la vida cotidiana, si bien, el plástico se ha criticado por ser uno de los principales contaminantes, tiene una gran capacidad de ser reciclado, en el caso del poliestireno, que es más conocido como *duroport*, puede ser reutilizado en su totalidad y puede llegar a ser mezclado hasta un 60 % con resina virgen según sea la exigencia del material a fabricar.



# 1. PARAMETROS DE LÁMINA EXTRUIDA

## 1.1. Espesor

Para la extrusora DAVIS-FL trabajar con láminas de diferentes dimensiones es tarea compleja, se configura según las necesidades del lote que se procesará o según las especificaciones detalladas por quien realiza un pedido especial. La criticidad en la concentración de viscosidad específica que permita otorgar el espesor requerido es directamente proporcional a la fuente de calor que se origina desde la tolva de dosificación. A lo largo del rodillo extrusor o rodillo sin fin, se deberá controlar la temperatura dentro de rangos permisibles, de lo contrario se puede perder la propiedad física y química de la mezcla procesada.

El espesor puede estar también condicionado por el tipo de dado que se encuentra en la parte final del tornillo sin fin, donde la placa rompedora otorgará la primera resistencia al polímero que está siendo procesado, luego de eso el dado que sea colocado deberá cumplir las especificaciones necesarias.

El dado que se coloca en la parte final de la extrusora, cumplirá con ciertos parámetros del producto final esperado, para la extrusión de láminas de polímeros 2P (PS) su nomenclatura es reconocida como un poliestireno con capacidad de expansión, sus principales propiedades es la flexibilidad y la resistencia. Sus beneficios son proporcionar resistencia a la compresión y a temperaturas bajas o altas. Además, este tipo de material presenta alta resistencia hacia el ataque químico, presenta alta tenacidad hacia los ácidos y los solventes.

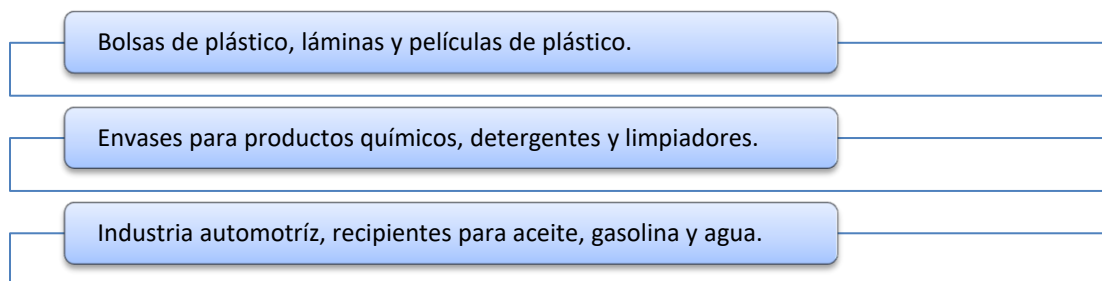
Figura 1. **Espesor de la lámina extruida**



Fuente: BELTRÁN, Marcilla. *Tecnología de los polímeros*. p. 36.

La industria del polímero emplea estas medidas estandarizadas, para la clasificación 2P donde sus usos pueden ir desde el envoltorio de alimentos hasta recubrimiento de equipos industriales.

Figura 2. **Aplicaciones y usos**



Fuente: BELTRÁN, Marcilla. *Tecnología de los polímeros*. p. 42.

Las propiedades de la lámina que se procesa estarán directamente relacionada con el tipo de uso final que ha diseñado el fabricante.

## 1.2. Peso

El fabricante establece una tabla que serviría a los fabricantes a correlacionar el peso molecular sintetizado en las celulosas y el producto final que se está fabricando, además, proporciona una tabla donde cuantifica la cantidad de láminas según el espesor que se le pueda estar otorgando, este material se procesa en rodillos de láminas.

Tabla I. **Peso del material con relación de láminas y espesor estimados**

<b>TYPE</b>	<b>Calibración por espesor</b>	<b>Cantidad de láminas</b>
A	0,015	30
B	0,020	30
C	0,030	25
D	0,040	15
E	0,060	10
F	0,080	10
G	0,100	8
H	0,120	8

Fuente: Davis Estándar Extrusión Systems. *Manual del fabricante*. p. 70.

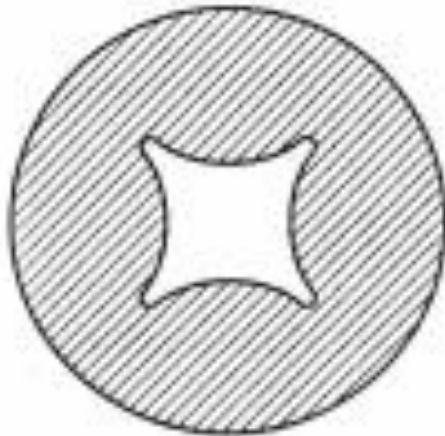
El fabricante en su manual plantea el diseño de la tabla I, dentro de esa tabla establece que se puede obtener una proporción por la cantidad de láminas acumuladas en un rollo versus el espesor establecido, idealmente se esperaría que los rollos de tipo A hasta tipo H propongan a cada fabricante pesos estandarizados, los rangos se encuentran entre 110 libras (50 kg) hasta 132 libras (60 kg).

### 1.3. Celdas

Las celdas se encuentran en el cabezal plano, son la parte final del proceso de extrusión, por medio de ellas concluye el flujo del polímero, por lo cual su temperatura deberá ser monitoreada constantemente, la finalidad de las celdas es otorgar el acabado esperado al material según el requerimiento del espesor, para cada configuración el equipo dispone de un cabezal, se deberá limpiar después de cada corrida de material.

Por el tipo de grosor milimétrico es necesario que los operarios o el responsable del equipo monitoreo si no presenta taponamientos por ciertas áreas o en general. Se puede limpiar cuando presente obstrucción insuflando aire caliente, no se puede exceder de 1 bar de presión porque arruinaría por completo la pieza.

Figura 3. **Corte frontal de un dado de extrusión, aumento de una celda**



Fuente: GORDILLO, Marshall. *Esquema de una extrusora*. p. 15.

## **2. PROCESOS DE MANUFACTURA EN LOS POLÍMEROS**

### **2.1. Tipos de polímeros**

La demanda industrial, las necesidades del hogar o por suplir algunas soluciones a la vida cotidiana ha invitado a la ciencia y la industria en general a desarrollar diferentes productos basados en polímeros, un polímero es el producto final de la mezcla, composición y procesamiento de resinas más agregados químicos, que luego de ser procesados a ciertos rangos de temperatura pueden transformarse finalmente en un elemento con diferentes propiedades físicas, mecánicas y aromáticas.

La composición química de un sinfín de moléculas o macromoléculas que se forman por la unión o reacción de enlaces covalente de una o varias unidades comúnmente llamadas monómeros y que forman parte de una reacción química logran convertirse al final de ese proceso de fusión más transformación en el tipo de polímero esperado, la base del polímero será la composición y mezcla precisa en cantidades proporcionales del producto final deseado.

Desde la perspectiva de la ciencia química, puede ser nombrado también como un elastómero, presenta visco-elasticidad (con propiedades viscosas y elásticas), además posee fuerzas intermoleculares que según la mezcla y proporción de procesamiento podría ser débil, los elastómeros se representan en sí como un polímero amorfo que existe sobre su punto de transición vítrea, eso lo hace que sea suave y deformable bajo condiciones controladas en temperatura ambiente.

Tabla II. **Tipos de polímeros**

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
Amorfos y cristalinos.	<p>Se presenta cuando las resinas que son procesadas se solidifican sin un patrón ordenado o sugerido de acomodo, cuando las cadenas moleculares se encuentran en estado líquido se presentan alargadas con relajación estructural, al enfriarse de forma súbita o abrupta ocurre ese efecto.</p> <p>La pieza clave para este tipo de acabado se centra en las resinas amorfas, por su estabilidad dimensional presentar resistencia sobre las cadenas de los átomos, al enfriarse repentinamente no obtienen la contracción sobre las piezas moldeadas. Otro factor crítico para obtener este acabado final, es la ausencia del punto de fusión definido, comúnmente ocurre cuando trabajan de forma artesanal.</p> <p>Las resinas con que se procesan estos polímeros se denominan amorfas, a diferencia de resinas cristalinas que al finalizar su proceso productivo obtienen una cierta forma estética por el comportamiento de la absorción de luz en sus partículas, la ventaja de las resinas cristalinas es el dotar de buenas propiedades térmicas y mecánicas al producto final (nylon, poliamidas, polietileno).</p>



Continuación tabla II.

<p>Termoplásticos y termofijos.</p>	<p><i>Su nombre comercial es el plástico, algunas de sus propiedades físicas se presentan a temperaturas relativamente altas, por lo cual tiende a la deformación y se vuelve flexible. Este material sufre su estado de endurecimiento sobre una transición vítrea al obtener llegar a ser enfriado óptimamente.</i></p> <p><i>Otra característica de los polímeros termoplásticos que se diferencia totalmente de los polímeros termoestables, es que luego de calentarse y moldearse, puede llegar a fundirse</i></p>
	<p>nuevamente para ser reciclado y forma una nueva pieza.</p> <p>Un polímero termofijo también se obtiene de la reacción química controlada de un componente más un catalizador o de dos componentes fusionados, al reaccionar cualquiera de las dos combinaciones forman un nuevo producto (silicones, epóxicos, fenol formaldehído).</p>
<p>Lineales, ramificados y reticulados.</p>	<p>Según el análisis microscópico presentado por algunos laboratorios químicos, se puede representar a estos tipos de polímeros como los que se forman con un solo tipo de unidad (homopolímeros) y los que tienen 2 tipos de unidades repetidas (copolímeros).</p> <p>En estas familias de polímeros se incluye el polietileno de alta demanda, su composición es de tipo monómera se asocia a los homopolímeros, a diferencia del etilen vinil acetato (EVA) también de alta demanda industrial, su composición es de monómero de etileno y vinil acetato, su relación es hacia los copolímeros.</p>

Continuación tabla II.

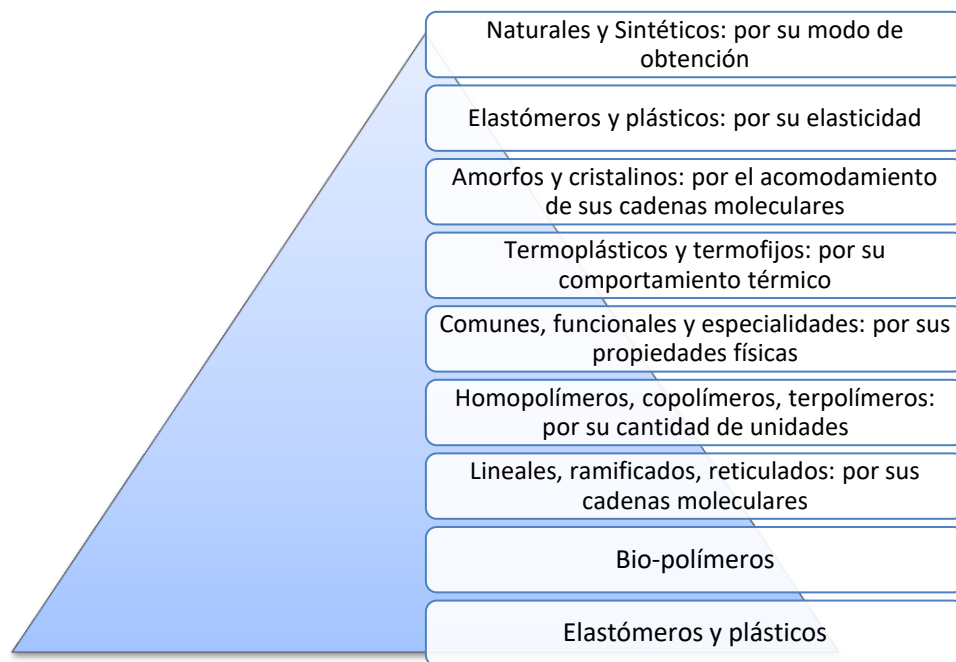
<p>Comunes, funcionales, de Ingeniería y especialidades.</p>	<p><i>Son procesados según sus derivaciones y propiedades físicas que sean requeridos para su uso final, los polímeros de alta gama o también conocidos como alta especialidad, son los que presentan mayor resistencia térmica, resistencia mecánica, química o combinación específica por su sintetización o formulación única como un polímero de cristal líquido.</i></p> <p><i>Las resinas poliamidas (PA), polioximetileno (POM), poliésteres derivados del poli-etilen tereftalato (PET) son algunos polímeros de grado ingenieril, son demandados en la industria por sus excelentes propiedades físicas, su grado cristalino hace de ellos lograr procesarlos con bajos costos de inversión.</i></p> <p><i>Otros polímeros que no presentan altas capacidades y propiedades físicas son denominados funcionales, pueden destacar sus propiedades en la resistencia a los impactos, un polímero de mayor demanda de esta categoría es el etilen vinil acetato (EVA) por sus propiedades mecánicas, ofrece entre sus usos el mejor sellado de empaques a diferencia de un polietileno.</i></p>
<p>Homopolímeros, copolímeros, terpolímeros.</p>	<p>El conocimiento de la química general es la clave para lograr establecer el adecuado polímero, se basa en la cantidad de enlaces esperados, las proporciones que permitan proveer dureza, fragilidad, plasticidad u otro tipo propiedad mecánica, algunos polímeros que en su estructura están representados solamente por un tipo de unidad repetida de enlaces covalentes es denominado homopolímeros, a diferencia de los productos que se conforman por la mezcla de dos unidades repetidas, a ellos se les denominan copolímeros.</p>

Fuente: REYNOSO, Sara. *Los polímeros Plásticos*. p. 35-45.

Los polímeros y sus derivados serán procesados de conformidad con el uso final deseado, a nivel mundial se ha incrementado el uso de estos, parte estratégica de estos productos es poder otorgarle niveles de inocuidad a los alimentos, los productos empacados que circulan a nivel global son para consumo humano en su mayoría, las fibras sintéticas con que se ha iniciado a confeccionar prendas de vestir es otro rubro de participación fuerte para este tipo de producto.

En la industria en general, para usos simples o para usos complejos se verá reflejado el polímero, podría ser maleable o robusto, en la industria automotriz a desplazado proporcionalmente sustituir volumen y piezas de metal por polímeros de alta resistencia al ataque químico, tracción y fricción.

Figura 4. **Formas básicas de diferenciar a los polímeros**



Fuente: REYNOSO, Sara. *Los polímeros Plásticos*. p. 48-52.

Con la información de la figura 4 se realiza una presentación sintetizada de las diez formas básicas de cómo se puede representar y diferenciar cada polímero dentro de una extensa familia química, física, mecánica y según sus usos.

## **2.2. Inyección**

Se emplea en la conformación de productos plásticos de mayor demanda en el comercio diario, su proceso inicia con la extrusión de una preforma, se puede utilizar un trozo de polímero en forma de tubo. Al trabajar en esa fase el polímero se encuentra en esta semi fundido, luego se deberá colocar la preforma en las dos piezas del molde que presenta la forma regular o irregular deseada. Se procede a cerrar el molde y es cuando se inyecta vapor o aire a presión constante dentro de la preforma, al inyectar ese fluido la pieza que se está fabricando inicia a adoptar la forma del molde que también estará siendo regulado en niveles críticos de temperatura. Las variables de medición en el proceso de fabricación por inyección son la temperatura y la viscosidad de la preforma.

Cuando el molde ha sido recubierto a su máximo nivel, se inicia el proceso de enfriamiento hasta solidificar el producto final, posteriormente se apertura el molde para extraer ese producto recién producido. La industria ha desarrollado diferentes modelos y diseños de equipos que puedan realizar esa tarea, pero el principio de funcionamiento se centra en dos partes específicas, una de ellas es el sistema de inyección, responsable de proveer la materia prima que es el material termoplástico, el punto crítico dentro de esa acción y funcionamiento es lograr sostener el nivel óptimo de viscosidad sobre la materia prima.

La segunda parte o punto crítico de estos equipos es el sistema de sujeción o extracción, su punto débil es, no poder insuflar o inyectar la cantidad de proporción de fluido con que se está trabajando a presión y temperatura constante, las mínimas variables de caídas de presión al igual en los rangos de temperatura podrían finalizar con productos irregulares o con zonas afectadas en su estructura.

Tabla III. **Partes críticas de control en la inyectora para garantizar la inyección constante a temperatura eficiente**

<b>Parte de interés</b>	<b>Descripción</b>
Tolva de alimentación	Parte del equipo donde se reciben las materias primas que serán procesadas, puede ser llenada manualmente o por un sistema automatizado, ocasionalmente presenta adaptado un sistema de secado que permitirá extraer la humedad del material para reducir el mínimo posible la generación de gases residuales en la plastificación.
Husillo o tornillo recíprocante	Pieza central dentro del proceso de extrusión, se subdivide en tres partes, una de ellas es llamada o conocida como zona de transporte, traslada las resinas y polímeros fragmentados hacia la siguiente zona, la zona de plastificación, parte del equipo donde se disuelven las resinas con los agregados en partículas para iniciar el proceso de transformación, fusión y mezclado, para luego trasladarse hacia la zona de distribución, que es la parte final donde se evacua las materias primas procesadas.
Barril de calentamiento	Dentro de esta zona se encuentran posicionadas resistencias eléctricas que regulan y compensan la pérdida de calor, su principio de funcionamiento es lograr alcanzar la temperatura de fusión del material que está siendo procesado.

Continuación tabla III.

Motor hidráulico	<i>Son los responsables de proporcionar el movimiento angular sobre el husillo, además proporcionar otro tipo de movimiento axial para mejorar la inyección. De esta zona de trabajo dependerá la velocidad de plastificación, se puede aplicar presión en la zona del husillo, esto se regirá según las características específicas del material final que se desea obtener, la inyección aplicada podría ser en los rangos de 1.700 y 2.100 kilogramos sobre centímetros cuadrados.</i>
Módulo del sistema de sujeción	Es la parte final del equipo, se localiza el molde de inyección, sus variables críticas de monitoreo para garantizar la eficiente producción son: temperatura total de su cuerpo útil, tiempo empleado en el proceso de enfriamiento, tiempo útil para inyectar presión, velocidad de apertura y cierre del molde.

Fuente: Davis Estándar Extrusión Systems. *Manual del fabricante*. p. 90-110.

### 2.3. Vaciado

A través de este proceso se pueden fabricar productos o piezas de volumen y figura irregular, su objetivo es poder producir un sinnúmero de copias idénticas empleando un molde preciso de la figura deseada. La técnica requiere principal cuidado en la temperatura del material que será vertido, el silicón es mayormente demandado. Para el desmoldado se requiere cuidado en la ejecución, se deberá esperar un tiempo prudente para que el material que fue vertido ya se encuentre consistente. El material no deberá ser vertido abruptamente, eso podría generar burbujas en el proceso de secado, el acabado en la pieza final dependerá de la técnica precisa del vaciado y del tiempo empleado en secado.

Figura 5. **Molde para vaciado, procesando una manzana con silicón**



Fuente: BILMEYER, Fred. *Ciencia de los polímeros*. p. 125.

#### **2.4. Rotomoldeo**

También es conocido como moldeo rotacional, se emplea en el proceso de transformación de polímeros para producir piezas huecas. Su proceso de fabricación inicia con la dosificación de producto pet o plástico en polvo, también puede ser vertido en condiciones líquidas, se emplea un molde de metal que se hace girar sobre dos ejes biaxiales, en esa etapa del proceso se inicia a inyectar calor en la superficie externa.

Luego de procesar así las materias primas introducidas en el molde se va fundiendo el plástico, distribuyéndose homogéneamente sobre las paredes internas del molde, por eso es necesario que la rotación o velocidad de giro sea constante. Cuando se cumpla con el tiempo programado necesario se detiene el equipo e inicia la fase de enfriamiento, el molde podrá llegar a su temperatura mínima ambiente y permitirá la extracción de la pieza fabricada.

La demanda de la técnica de Rotomoldeo es mayormente empleada para fabricar productos con piezas huecas, cuando presentan bordes irregulares con paredes uniformes, cuando el producto requerido presenta geometría de curvas

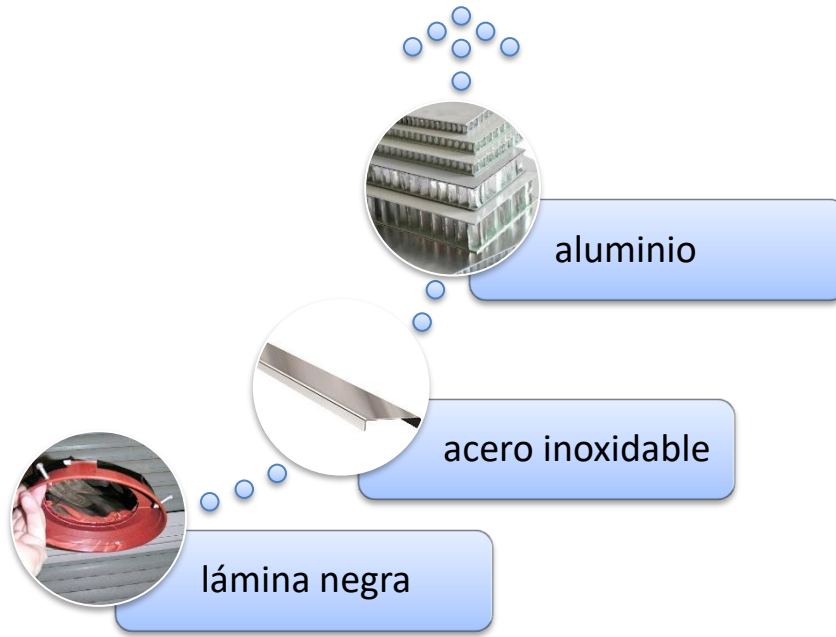
complejas. Una eficiencia de trabajar con la técnica de Rotomoldeo es aprovechar los bajos costos de producción comparado con la técnica del modelado por inyección.

Otra característica sobre el producto final al trabajar con Rotomoldeo, es que, se trabaja con bajas presiones esto a su vez permite obtener productos con tensiones internas mínimas, que a su vez otorga eficiencia en el comportamiento mecánico en respuesta al grado de solidez obtenido, siempre en comparación con la técnica de inyección. El espesor del producto que se está fabricando podría iniciar en 1 mm hasta llegar al grosor necesario final.

Durante el proceso de Rotomoldeo son empleadas cuatro fases, inicia con el vaciado del polímero en polvo o líquido dentro del molde, luego se cierra el molde para iniciar rotación biaxial dentro de un horno, durante ese proceso el polímero se va transformando y fundiendo sobre las paredes internas del molde, se procederá a extraer el molde del horno y será trasladado a una zona de enfriamiento, se espera un tiempo prudente según el espesor de la figura procesada para aperturar el molde y retirar la pieza hueca.



Figura 6. **Materiales utilizados para moldes en Rotomoldeo**



Fuente: BILLMEYER, Fred. *Ciencia de los polímeros*. p. 130.

Se representa gráficamente los tres principales materiales que se emplean para fabricar los moldes utilizados en el Rotomoldeo, en la parte baja se localiza la lámina negra, está es de menor costo de procesamiento y con menores propiedades mecánicas resistentes, en el top se localiza el aluminio, es de mayor costo de adquisición, pero otorga mejor acabado en los materiales producidos, sus resistencias mecánicas, físicas y químicas son de mayores beneficios al trabajar en el.

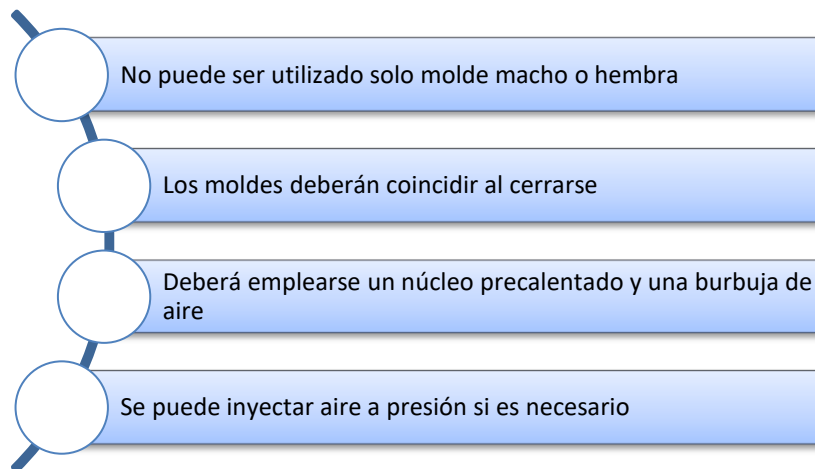
## 2.5. Termoformado

Técnica empleada para darle forma a una plancha de polímero o lámina termoplástica, se le aplica calor directamente sobre su superficie, puede ser

colocada sobre algún molde con la figura final deseada, luego se procede a aplicar presión al vacío, es necesario el uso de un contra molde para cerrar el sistema.

Las hojas del polímero termoplástico que estará siendo procesado y calentado llegará hasta su límite o región plástica dentro del molde cerrado al vacío, la mayor demanda de esta técnica es para fabricar empaques para huevos y artículos decorativos.

Figura 7. **Características que influyen en el termoformado**



Fuente: BILLMEYER, Fred. *Ciencia de los polímeros*. p. 135-140.

## 2.6. Calandrado

Durante este proceso de manufactura el material extruido será sometido a presión y compresión entre rodillos, los materiales semi cristalinos son los de mayor demanda. Es durante su transformación que se pueden crear láminas con espesores desde 5 micrómetros hasta 3 milímetros, o según la capacidad

de compresión que se disponga, las tolerancias serán establecidas por el fabricante o por el solicitante del lote a producir.

También se puede verter polímero fundido sobre una combinación o juegos de rodillos con huelgos milimétricos, los rodillos podrán estar grabados con logos o dibujos específicos, la presión entre ellos y el material conformara una lámina delgada de polímero, cuando es polímero fundido comúnmente es utilizado el cloruro de polivinilo. Los productos mayormente demandados con esta técnica o proceso son las cortinas para baños.

Tabla IV. **Etapas en el proceso**

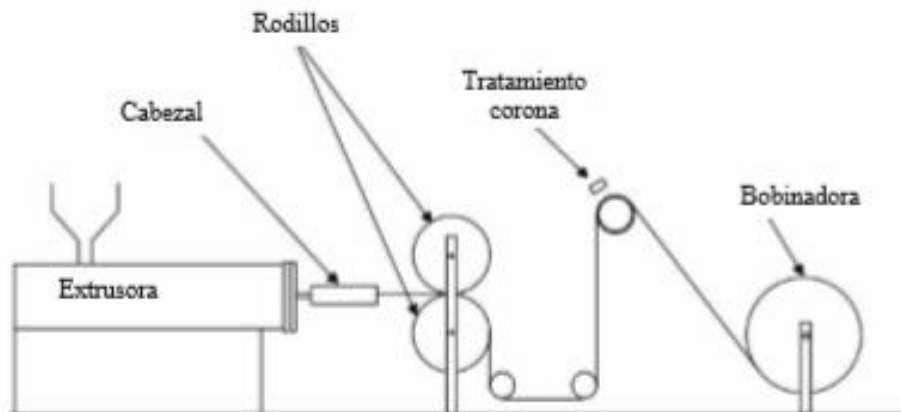
<b>Etapas</b>	<b>Descripción</b>
Alimentación	Si el equipo posee tolva con llenado manual, deberá ser vertido el polímero en el estado inicial con que se desea procesar, puede ser en partículas o fluido viscoso. Se deberá monitorear a cada cierta fracción de tiempo para evitar que el nivel descienda hasta un punto donde se pueda interrumpir la producción.
Paso por los cilindros	Se calibran los juegos de cilindros con presión, temperatura y velocidad requerida por la orden de trabajo, las especificaciones dependerán del producto final, la distancia entre los pares de rodillos también dependerá del tiraje de la lámina procesada.
Calibración	Con las especificaciones en los detalles minuciosos se dará el acabado final al producto o lámina de polímero procesada, la misma será recortada según especificaciones requeridas en ancho.

Continuación tabla IV.

Enfriamiento	<i>Se procesará aplicando aire directamente sobre la lámina previa a ser embobinada, o por inmersión en agua para lograr obtener la contracción necesaria hasta obtener las dimensiones diseñadas.</i>
Corte	Será cortada al principio o al final de procesar la cantidad requerida por el fabricante.
Bobinado	Se preparan las bobinas, pueden ser procesadas por peso o volumen, según la orden de trabajo enviada.

Fuente: elaboración propia, Davis Estandar Extrusion Systems.

Figura 8. **Esquema de un proceso de calandrado**

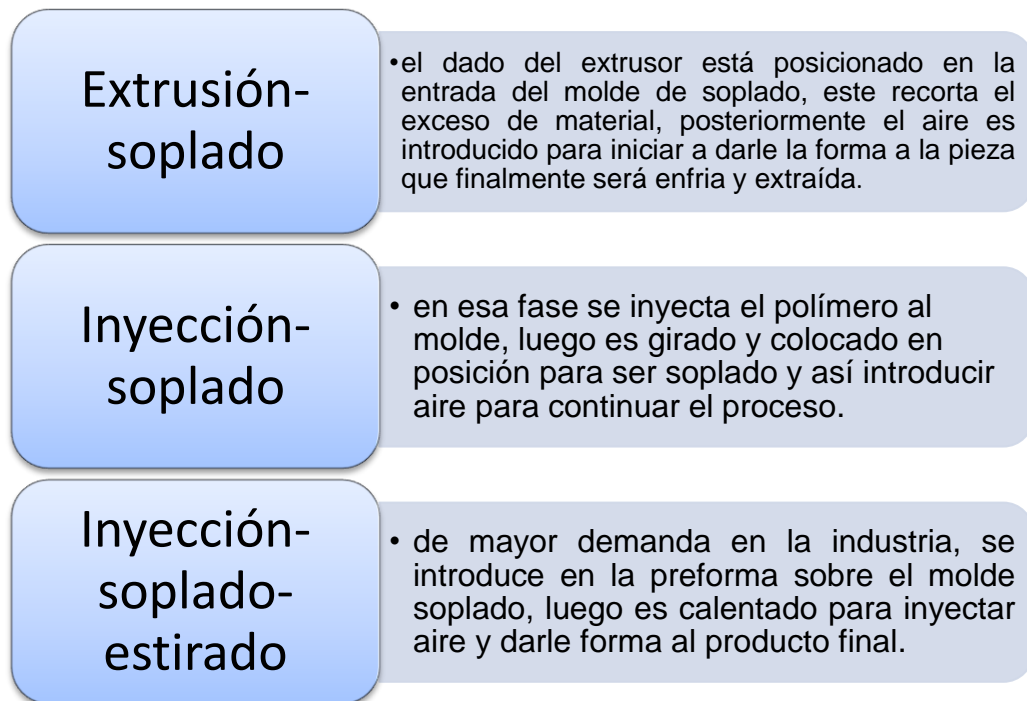


Fuente: elaboración propia, Davis Estandar Extrusion Systems.

## 2.7. Soplado

Se reconoce así al proceso discontinuo de producción, mediante el cual la resina termoplástica puede ser fundida hasta llevarla a obtener una forma ahuecada, la cual será procesada con la inyección de aire a presión para lograr darle la forma final contenida en el molde de trabajo. Con el uso de esa técnica es combinado el proceso de extrusión, inyección y estiramiento, con la combinación perfecta se puede obtener el producto final con el estiramiento necesario. En algunos pasos pueden destacar variaciones al incorporar presión de inyección, presión de modelado y temperatura de trabajo.

Figura 9. **Tipos de inyección y soplado**



Fuente: elaboración propia, Davis Estandar Extrusion Systems.

## 2.8. Extrusión

Proceso industrial mediante el cual un polímero puede ser sometido a diferentes transformaciones, la materia prima o composición inicial del polímero final dependerá del producto final esperado, la relación en la mezcla de composición de resinas y producto virgen en grano de base de polímeros será establecido por el fabricante, la maquinaria empleada utiliza el principio de funcionamiento de un tornillo sin fin, mediante el cual la mezcla de las materias primas es trasladada dentro de sus surcos.

Figura 10. **Tornillo extrusor**



Fuente: elaboración propia, Davis Estandar Extrusion Systems.

La mezcla del material procesado es forzada a circular a través del tornillo extrusor, saliendo finalmente por un dado con dimensiones específicas, según lo que sea deseado procesar en ese momento. Luego de concluir su etapa de procesado, el material será sometido a ciertas etapas de calibración y enfriamiento, estas etapas le proporcionarán estabilidad al producto final, se removerá el calor excedente para evitar deformaciones a futuro.

Los productos de mayor ritmo de producción o demanda de fabricación son fibras sintéticas, películas plásticas, perfiles de polímeros, mangueras para uso domiciliario, tuberías para uso domiciliario o uso industrial. El mayor requerimiento en esos productos es que deberán presentar una sección transversal constante sobre cualquier punto que desee ser evaluado sobre toda su longitud. Además, con el proceso de extrusión también pueden ser fabricados productos de forma irregular y textura corrugada.

### **2.8.1. Proceso de extrusión**

Se vierte la materia prima o el polímero que será procesado, puede ser en concentración de material virgen más resinas o material reciclado más material virgen y resinas. Luego se deberá calibrar la maquinaria en velocidad, temperatura, presión y dado en la parte final para el acabado final, cuando la proporción de las materias primas han sido colocadas en la tolva de dosificación se procederá al arranque de la maquinaria, la cual procesará el material final en el tiempo estimado. Se deberán monitorear los rangos de temperatura y velocidad sobre el tornillo extrusor, no se puede permitir que la tolva de recepción de materias primas descienda de su nivel permisible.

Figura 11. **Extrusora DAVIS-FL horizontal**



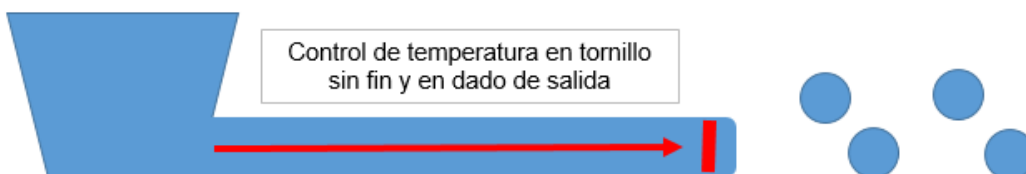
Fuente: elaboración propia, Davis Estandar Extrusion Systems.

### 2.8.2. Condiciones ideales y constantes

Para procesar el nuevo material se deberán agregar las cantidades ideales que permitirá obtener equilibrio del polimero reciclado, resinas y el material virgen. En un proceso común se emplea 75 % de material virgen, 15 % de resinas y 10 % de material reciclado, para fabricar láminas de polímeros.

El motor deberá ser calibrado con velocidad constantes que no supere las 1 200 revoluciones, de esa forma se transmite la potencia eficiente al husillo que le transfiere esa energía al tornillo extrusor, las temperaturas variaran según el material y dimensiones finales esperadas, el equipo DAVIS-FL puede trabajar en rangos de 105 grados centígrados hasta un máximo nivel de 220 grados centígrados. Otra característica en la calibración es lograr producir las láminas finales bajo parámetros de viscosidad y densidad requerida, el equipo podría procesar desde 0,5 mm hasta 12,1 mm, con esas cualidades se espera obtener el producto final con otro tipo de propiedades físicas y mecánicas permisibles sobre el uso deseado.

Figura 12. **Puntos críticos de control de temperatura**



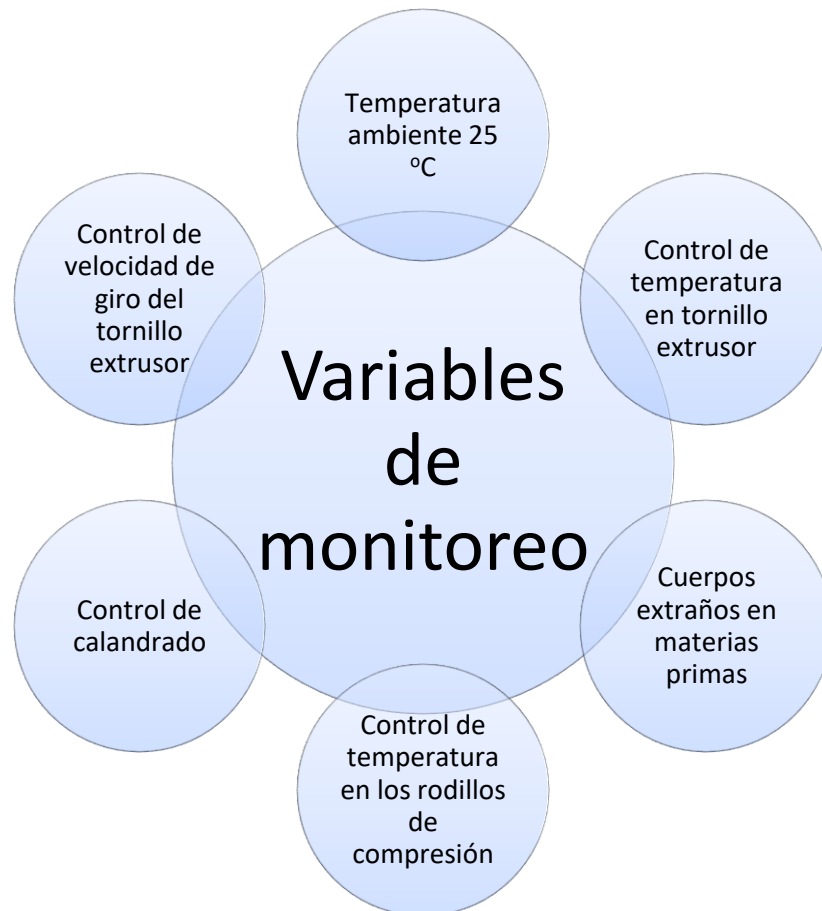
Fuente: elaboración propia.

Por el tipo de materia prima deberá ser monitoreado el porcentaje de humedad presente, cuando se agregan en la tolva los tres productos que serán



procesados deberá extraérseles para no ralentizar el proceso, a mayor porcentaje de humedad deberá demandar mayor consumo de energía eléctrica el sistema de resistencias térmicas, se reduciría la velocidad de giro del tornillo extrusor y el efecto final es alargar el tiempo total de procesamiento. La humedad relativa del ambiente no debería superar el 50 % de las materias primas, la temperatura óptima para trabajar sería de 25 grados Celsius.

Figura 13. **Parámetros y variables de monitoreo para condiciones ideales de trabajo**



Fuente: elaboración propia, Davis Estandar Extrusion Systems.

### **2.8.3. Condiciones variables**

El manual del fabricante propone las posibles combinaciones en el equipo, según lo que se desea procesar y las cantidades esperadas de materias primas, el equipo ha sido probado bajo condiciones controladas, con personal calificado. Las condiciones variables iniciaran por la capacidad de experticia de trabajo de los operarios responsables de calibrar el equipo previo a producir X cantidad de láminas de polímero.

No se podrá descartar la calidad de las materias primas, si estas han sido procesadas bajo estrictos controles de calidad que proponga así una producción sustentable, reduciendo a su mínima expresión cualquier tipo de cuerpo extraño en la mezcla, el material reciclado también deberá ser monitoreado y garantizar que cumple con altos estándares de calidad, que ha sido procesado con polímeros de origen 2P, de no ser así la condensación y mezcla del producto extruido esperado no cumplirá con los rangos proyectados.

El origen de los materiales reciclados es el punto de mayor criticidad, las empresas que comercializan las materias primas procesadas de productos reciclados, deberán garantizar que los materiales obtenidos son del producto base esperado, no se pueden mezclar polímeros de otro tipo que no sea el requerido hacia el procesamiento de la mezcla para procesar el nuevo producto. Eso afectaría drásticamente la viscosidad el procesarlo, otra característica que se vería afectada por utilizar materias primas recicladas que no cumplen con los parámetros esperados, es comprometer la estructura física final de las láminas y sus propiedades mecánicas.

### **2.8.3.1. Temperatura del punto de fusión del material**

El equipo DAVIS-FL al procesar láminas con densidad de 0,5 mm por requerirse mayor proporcionalidad de viscosidad trabajaría hasta los 220 grados Celsius, luego de eso deberá ser controlado en el dado de la parte final de salida.

### **2.8.3.2. Expansión del material**

Se emplean los rodillos en el paso de calandrado, a través de ellos se puede ir expandiendo el material, el trabajo se realiza por compresión y arrastre. La sujeción del material será la pieza central dentro del proceso, el polímero contiene cierto porcentaje de gas inherente en su estructura cristalina, para lograr moldear el material es necesario que los rodillos sean alineados en separación no mayor a 30 o 45 centímetros luego de un paso de compresión. El material puede llegar a expandirse hasta 60 centímetros de ancho, el tiraje que será bobinado dependerá del diseño enviado a producción.

### **2.8.4. Producto final**

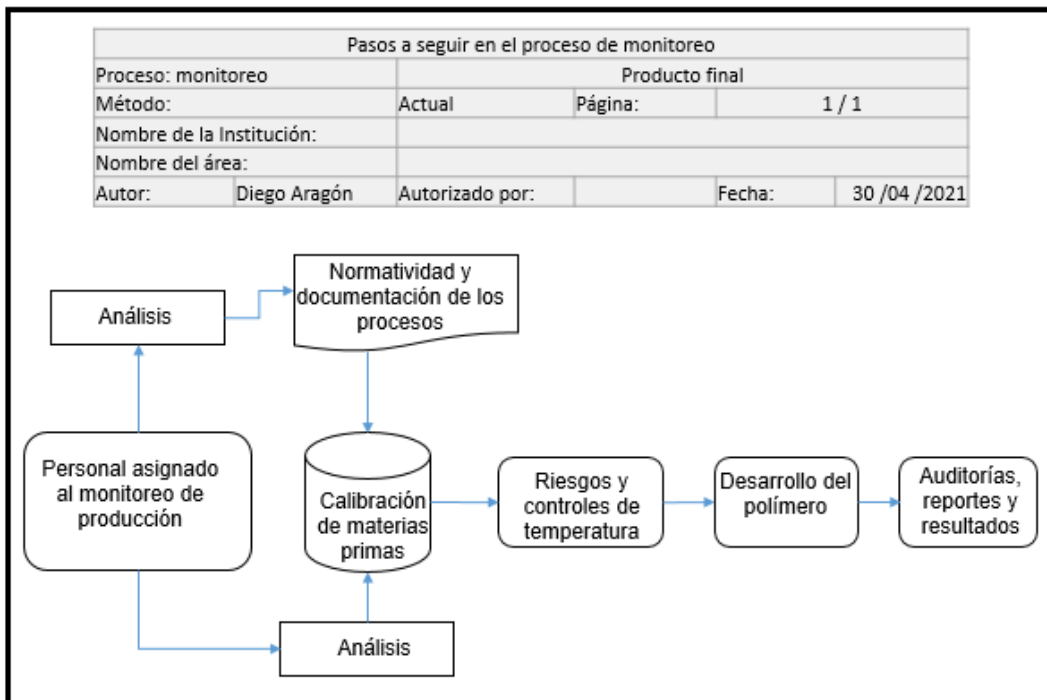
El dado de extrusión que se posiciona en la parte final del tornillo extrusor es quien dará la forma del producto esperado, se debe calibrar para grosor y densidad según la lámina de polímero que se desea procesar, otra característica para el producto final es trabajar con tornillo que otorgue al fluido extruido la versatilidad de paso en velocidad y compactación por los pasos del mismo, los tornillos que se puede emplear en la maquina son sencillos o dobles, grande o pequeño, esto permitirá graduar el flujo de tránsito.

Figura 14. **Producto final en rodillos compactadores de estiramiento**



Fuente: elaboración propia, Davis Estandar Extrusion Systems.

Figura 15. **Diagrama para control de calidad del producto final**

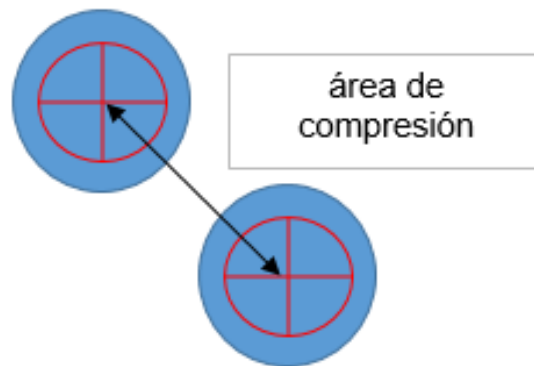


Fuente: elaboración propia.

### 2.8.4.1. Calandrado

La graduación en la resistencia de rodaje y compresión de los rodillos es la pieza central para el debido proceso, el polímero que se está procesando en láminas con diferente espesor y viscosidad debe de comprimirse hasta obtener el acabado final deseado, en la primer sección de rodillos la compresión otorgará el 40 % del espesor deseado, en la siguiente sección de rodillos se reducirá hasta el siguiente 30 % deseado y en la última sección de compresión los rodillos podrán otorgar el último 30 % restante para que la lámina cumpla con las especificaciones de producción diseñada.

Figura 16. **Área de compresión**



Fuente: elaboración propia.

En la primera etapa de rodillos para un acabado final de laminación con espesor de 0,5 mm se inicia aplicando presión entre rodillos hasta los 2 100 kilogramos por centímetro cuadrado, en la siguiente etapa se reduce la presión a 1 900 kilogramos por centímetro cuadrado hasta llegar a la última etapa de rodillos donde se gradúa a su mínimo de 1 700 kilogramos.

### 2.8.4.2. Láminas

El largo total de las láminas estará limitado por el espesor de laminación y la cantidad esperada, el tiraje de las láminas alcanzaría proporciones de ancho máximo de 60 centímetros, con largo de 15 metros, en condiciones de espesor de 0,5 mm.

Figura 17. Láminas de polímero procesado



Fuente: REYNOSO, Sara. *Los polímeros plásticos*. p. 96.

La capacidad de la maquina otorgara beneficios o limitantes para producir las láminas, según el equipo que se disponga para trabajar podrá ser graduado hasta donde sus rangos lo permitan, puede llegar a ser producida una lámina de más de 90 centímetros de ancho, las dimensiones en espesor varían muy poco, el tiraje en longitud lo condicionara el silo donde se enrollará el producto final.

### 2.8.4.3. Rollo

La capacidad de carga para cada equipo estará condicionada según el fabricante, para el equipo DAVIS-FL puede llegar a cargar hasta un rollo de 30 láminas con peso máximo de 132 libras (60 kilogramos). Otra variable que, condicionada el volumen del rollo, es por el espacio en la zona de recuperación. Si esa zona es pequeña, el rollo no podrá seguir enrollando hasta que llegue a su límite.

Figura 18. Rollos embalados para la venta



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.





### **3. PROPORCIONES DE MATERIALES**

#### **3.1. Composición de la mezcla**

La mezcla original emplea mayormente Poliestireno virgen, la propuesta radicara en emplear mayormente producto reciclado, por medio de esto se espera impactar positivamente al medio ambiente, el entorno industrial y los costos de operación en manufactura.

El mercado demandante globalizado exige cada día fabricar productos que provean las mismas condiciones de inocuidad, resistencia y propiedades físicas sobre productos existentes pero que requieren mayor porcentaje de participación de materias primas vírgenes. Los polímeros que se desean mejorar responden a la cantidad de láminas procesadas por determinada proporción de materias primas.

##### **3.1.1. Poliestireno virgen**

La participación del Poliestireno virgen al obtener las láminas deseadas sobre las características finales del producto, propone que esos factores comprometen la cantidad necesaria a ser empleada, el diseño original requiere obtener termoplásticos con factores de naturaleza química en su arquitectura molecular, presencia de resistencia a la tracción y con rangos en las condiciones de procesado. Se emplea 75 % de participación de Poliestireno virgen, podría reducirse hasta 50 % para iniciar a obtener productos de bajo impacto ambiental, la relación podría verse afectada por el módulo elástico con proporciones desde los 0,8 GPa hasta alcanzar 120 Gpa.

### 3.1.2. Poliestireno peletizado

La participación ideal podría ser el 35 % de la composición de la mezcla, se podría utilizar cuando se desea procesar polietileno soplado únicamente, por sus propiedades de baja densidad (HDPE) presenta dureza, rigidez y resistencia necesaria para procesarse por moldeo. No podrá ser utilizado en esa proporción al fabricar laminación.

Figura 19. Poliestireno peletizado



Fuente: Poliland, *Poliestireno pelizado*. <https://poliland.com.co/polietileno-peletizado/>

Consulta: noviembre 2021

Este tipo de material reciclado presentará el color del material base de procedencia, deberá ser evaluado cuanta sería la participación final cuando la viruta sea de color y que no contamine así el producto final esperado.

### 3.1.3. Poliestireno molido

Se considera como materia prima virgen, se reconoce como un plástico común. Se procesa por medio de la polimerización de etileno (hidrocarburo en estado gaseoso). Para fabricar las láminas deseadas podría ser hasta en un 50 %, sobrepasando ese nivel de participación se estaría reduciendo el factor de aprovechamiento de material reciclado.

### 3.2. Proporciones de la mezcla

La proporción perfecta dependerá del espesor de la lámina final deseada, según esas dimensiones se podrán diseñar un conjunto de variaciones.

Tabla V. **Proporciones ideales de la mezcla**

	Poliestireno virgen	Poliestireno peletizado	Poliestireno molido	Resinas
Mezcla original	75 %	20 %	20 %	5 %
Mezcla propuesta	50 %	45 %	45 %	5 %
Producto espero a ser procesado				
Grosor o calibre			Cantidad de láminas	
0,015 mm			30	
0,020 mm			30	
0,030 mm			25	
0,040 mm			15	
0,060 mm			10	
0,080 mm			10	
0,12 mm			8	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Se presenta la relación y proporción de la mezcla por cada 50 libras de material virgen, para implementarse se podría utilizar la siguiente ecuación:

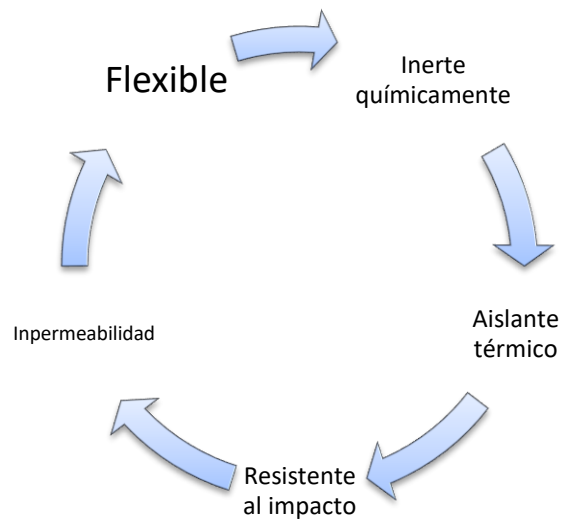
Ecuación I

$$X = n \text{ libras producto virgen} + n \text{ libras (0,45 de material reciclado)} + \text{resinas}$$

### 3.3. Propiedades según proporciones

Se esperaría que las propiedades físicas, químicas y mecánicas continúen siendo las mismas, no se puede obtener un resultado final hasta desarrollar pruebas destructivas y no destructivas en laboratorio.

Figura 20. **Propiedades esperadas según la proporción**



Fuente: REYNOSO, Sara. *Los polímeros plásticos*. p. 98.

## 4. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD SEGÚN PROPORCIÓN ÓPTIMA DE POLIESTIRENO

### 4.1. Proporción óptima de la mezcla

Según la ecuación I planteada se diseña una tabla donde se podrá utilizar como guía en la extrusión de futuras láminas de polímeros con baja participación de material virgen. La relación que se plantea es respalda por pruebas de campo que se realizaron en una empresa donde se trabaja este tipo de material, la relación será para procesar 100 libras de materias primas en total.

Tabla VI. **Proporción óptima de la mezcla**

Calibre	Láminas	Poliestireno virgen	Poliestireno paletizado	Poliestireno molido	Resinas
0,015 mm	30	50 %	45 %		5 %
0,020 mm	30	50 %		45 %	5 %
0,030 mm	25	50 %	45 %		5 %
0,040 mm	15	50 %		45 %	5 %
0,060 mm	10	50 %	45 %		5 %
0,080 mm	10	50 %		45 %	5 %
0,12 mm	8	50 %		45 %	5 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Los materiales que fueron procesados bajo esas proporciones mostraron poseer características similares a los que se procesan originalmente con 75 % de materia prima virgen, la diferencia presente y muy visible, es la coloración del producto final, no presentaron la misma calidad que los originales.

## 4.2. Espesor

Se compararon los productos finales obtenidos con los productos originales fabricados, según el calibre y con la nueva configuración de su composición. El espesor final sufrió variaciones moderadas-severas.

Tabla VII. **Comparación de espesor del producto final versus el producto original**

Calibre esperado	Calibre final	$\Delta$ mm	Láminas esperadas	Láminas obtenidas	$\Delta$ láminas
0,015 mm	0,017 mm	+0,002	30	31	+1
0,020 mm	0,017 mm	-0,003	30	28	-2
0,030 mm	0,028 mm	-0,002	25	23	-2
0,040 mm	0,036 mm	-0,004	15	14	-1
0,060 mm	0,055 mm	-0,005	10	9	-1
0,080 mm	0,074 mm	-0,006	10	8	-2
0,12 mm	0,113 mm	-0,007	8	7	-1

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Los resultados obtenidos con relación al espesor mostraron diferente comportamiento al final del proceso, las láminas no lograron obtenerse según la proyección estimada con el peso de los materiales necesarios, los rangos de incerteza tampoco presentan un patrón entendible, la limitante en las pruebas fue el factor económico, factor tiempo y disponibilidad del equipo.

Con el seguimiento apropiado se podría obtener la relación perfecta que permita optimizar el uso de materiales reciclados y materiales vírgenes, una industria o empresa que manufacture láminas de polímeros no puede producir con faltantes o excedentes, eso al final impactaría en sus costos de operación.

#### 4.3. **Peso**

Los rollos que fueron procesados se pesaron luego de ser bobinados, el peso fue significativo por el volumen de láminas fabricadas, a comparación del producto original con el cual pudo ser comparado.

Tabla VIII. **Comparación del peso de un rollo trabajado con material reciclado y versus un rollo con alta condensación de material virgen**

Calibre esperado	Calibre final	Láminas esperadas	Láminas obtenidas	Peso esperado	Peso final
0,015 mm	0,017 mm	30	31	60 libras	59,7 libras
0,020 mm	0,017 mm	30	28	60 libras	58 libras
0,030 mm	0,028 mm	25	23	60 libras	57,8 libras
0,040 mm	0,036 mm	15	14	60 libras	58,6 libras
0,060 mm	0,055 mm	10	9	60 libras	57,4 libras
0,080 mm	0,074 mm	10	8	60 libras	59,2 libras
0,12 mm	0,113 mm	8	7	60 libras	59,4 libras

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

#### 4.4. **Celdas**

Las celdas que conforman la parte final del dado de extrusión fueron graduadas de forma original, no se expandieron o redujeron sus pasos para esperar uniformidad en las láminas, el material en la salida presento mayor resistencia, con grumos y burbujas de aire.





## CONCLUSIONES

1. Algunos de los parámetros actuales están orientados en el control de la temperatura del tornillo extrusor, otro parámetro que puede comprometer el proceso es la mala calidad de materias primas o que presente cuerpos extraños que podrían lastimar las guías del equipo.
2. A mayor porcentaje de humedad en las materias primas, el equipo requiere mayor demanda de potencia eléctrica para calentar las resistencias hasta llegar a fundir el polímero.
3. El material original versus el material que fue procesado como muestra presento en su estructura superficie irregular con alguna corrugación, cuando se procesó lámina de mayor espesor fue quebradizo.
4. Con las proporciones experimentales se obtuvieron perdidas de materias primas, no se obtuvo el alcance esperado, la diferencia fue de +1 o -2 láminas, según el calibre de menor a mayor que se deseaba procesar, fue directamente proporcional las láminas que no lograron ser procesadas.
5. Con los resultados experimentales, se obtuvieron parámetros que demostraron deficiencias en la mezcla, presentaba grumos y burbujas de aire, los resultados finales presentaron menor espesor que el estimado en las láminas, y no se alcanzaron las cantidades de láminas esperadas puede afectar la resistencia a la compresión.



## RECOMENDACIONES

1. Incluir los parámetros de la tabla VI para trabajar con futuros ensayos en la producción de láminas de polímero, el equipo que se utilice podría ser graduado bajo condiciones controladas que establezca el fabricante, la mayoría de los fabricantes no propone emplear materias primas en proporciones mayores del 25 %, por lo que los equipos deberán ser monitoreados constantemente.
2. Aprovechar la sustracción de hasta un 98 % del volumen de humedad del polímero virgen y del polímero reciclado, las resinas como tal son líquidas, al extraer ese porcentaje de humedad, se reduce el aprovechamiento de la viruta del polímero, por lo cual se necesita mayor cantidad en volumen para producir una cantidad ya establecida. Dicho de otra forma, al extraer hasta ese porcentaje de humedad se requiere duplicar o triplicar en volumen las materias primas.
3. Realizar ensayos destructivos sobre los polímeros procesados con la nueva composición de material reciclado, esto podría aportar datos relevantes sobre su estructura cristalina, y así analizar el nivel crítico de fusión en la temperatura óptima.
4. Las pérdidas podrían reducirse con el acondicionamiento en proporción de material virgen más material reciclado y las resinas, la mezcla original que se planteó no cumple el objetivo deseado, podría iniciarse nuevamente agregando mayor porcentaje de material reciclado y observar los resultados.

5. Los grumos y las burbujas en la mezcla deberán ser retiradas, eso afecta el dado y las celdas en la fase final de la extrusión, el rodillo también es afectado al adherírsele el material procesado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, Eugene. *Manual del Ingeniero Mecánico*. 9a ed. Tomo II. México: McGraw-Hill Interamericana. 1995. 250 p.
2. BILLMEYER, Fred. *Ciencia de los polímeros*. 1a ed. España: Ediciones Reverte. 1975. 610 p.
3. DAVIS ESTANDAR. *Extrusion Systems. Manual del fabricante*. Estados Unidos: s.e. 2007. 580 p.
4. GARCÍA, Santiago. *Organización y gestión integral de Mantenimiento*. 1a. ed. México: McGraw-Hill, 2005. 275 p.
5. LEÓN RAMÍREZ, Juan Manuel. *La máquina para el proceso extrusión soplado de plásticos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1984. 81 p.
6. NEWBROUGH, Enio. *Administración del Mantenimiento Industrial*. 6a ed. México: Diana. 2004. 230 p.
7. Norma Internacional ISO 9001:2000. *Sistemas de Gestión de la Calidad-Requisitos*. Estados Unidos: s.e. 2020. 450 p.
8. REYNOSO, Sara. *Los polímeros plásticos*. 1a ed. México: s.e. 2018. 195 p.

9. SALAMEDO, José. *Ingeniería del mantenimiento con su plan de mejora continua*. México: s.e. 2016. 196 p.

## ANEXOS

### Anexo1. **Motor eléctrico de extrusora horizontal DAVIS-FL**



Fuente: Davis Estándar Extrusion System. *Manual del fabricante.*

Anexo 2. **Parte final de extrusora horizontal DAVIS-FL**



Fuente: Davis Extrusion System. *Manual del fabricante.*