



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

PROPUESTA DE REACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE UNA EXTRUSORA DE LÁMINAS DE POLIESTIRENO

Andrés Josué Barrera Tobar

Asesorado por el Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE RECONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE UNA
EXTRUSORA DE LÁMINAS DE POLIESTIRENO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANDRÉS JOSUÉ BARRERA TOBAR

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ENRIQUE CHICOL CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Víctor Eduardo Izquierdo Palacios
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:

PROPUESTA DE REACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE UNA EXTRUSORA DE LÁMINAS DE POLIESTIRENO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de abril de 2012.

Andrés Josué Barrera Tobar

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Ing. Julio César Campos Paiz
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Campos

Atentamente le estoy informando que he procedido con la revisión final del trabajo de graduación titulado **“PROPUESTA DE REACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE UNA EXTRUSORA DE LÁMINAS DE POLIESTIRENO”** realizado por el estudiante de ingeniería mecánica Andrés Josué Barrera Tobar con número de carné 200714582, quien contó con la asesoría el suscrito.

El trabajo se desarrolló en una empresa privada dedicada a comercializar dicho producto de polímeros, y, cuenta con mi total aprobación, por lo que estoy solicitándole darle el trámite correspondiente, ya que considero que cumple con los objetivos fundamentales propuestos en la investigación, aportando resultados de suma utilidad en beneficio de la mejora del equipo y por tanto siendo favorables para el sector económico guatemalteco.

Sin otro particular, me suscribo de usted,
Atentamente,

CARLOS ENRIQUE CHICOL C
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO 6965

Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
Colegiado No.6965
Asesor de Trabajo de Graduación

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Complementaria, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado PROPUESTA DE REACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE UNA EXTRUSORA DE LÁMINAS DE POLIESTIRENO del estudiante Andrés Josué Barrera Tobar, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, septiembre de 2012 .

/behdei

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria al Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA DE REACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE UNA EXTRUSORA DE LÁMINAS DE POLIESTIRENO** del estudiante **Andrés Josué Barrera Tobar**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR

Guatemala, noviembre de 2012

JCCP/bchdeci





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE REACONDICIONAMIENTO DE EQUIPO DE UNA EXTRUSORA DE LÁMINAS DE POLIESTIRENO**, presentado por el estudiante universitario: **Andrés Josué Barrera Tobar**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, noviembre de 2012

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por su compañía incondicional en todo momento de mi vida, manifestándose en cada una de las cosas, situaciones y personas que me rodean, dándome la oportunidad de devolver todo el amor que me ha demostrado.

Mis padres

Roberto Maximiliano Barrera Cruz y Alba Leticia Tobar Polanco de Barrera, por la motivación, esfuerzo y guía que me han regalado desde el primer momento de mi vida, así como, por el amor y valores que sembraron en mí y ahora hacen crecer el deseo de ser una mejor persona.

Mi hermana

Diana Maylín, por brindarme una motivación extra siempre que la necesito y ser una gran amiga y consejera.

Mi familia

Por estar siempre pendiente de mis logros y llevarme a buscar más para compartirlos con ellos.

Mi asesor

Ing. Carlos Chicol por su ayuda y tiempo dedicado a dirigir mi investigación por el camino correcto, por los conocimientos y ejemplo transmitidos durante todo el desarrollo de mi carrera.

**A la Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Al ser gran fuente de inspiración, conocimiento y ejemplo, para que las acciones que tome como profesional sean siempre en mejora para Guatemala desde cualquier parte del mundo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. POLÍMEROS Y SU TRANSFORMACIÓN	1
1.1. Polímeros	1
1.1.1. Tipos y sus características	2
1.2. Procesos de manufactura	4
1.2.1. Tipos de procesos	9
1.2.1.1. Inyección	9
1.2.1.2. Extrusión	11
1.2.1.3. Vaciado	15
1.2.1.4. Rotomoldeo	16
1.2.1.5. Termoformado	16
1.2.1.6. Compresión	17
1.2.1.7. Transferencia	18
1.2.1.8. Calandrado	20
1.2.1.9. Soplado	22
2. ANTECEDENTES DE MAQUINARIA	25
2.1. Calandrado y su producto final	25
2.2. Proceso de extrusión	25

2.2.1.	Condiciones ideales y constantes.....	25
2.2.2.	Condiciones variables	28
2.2.3.	Producto final	29
2.2.3.1.	Láminas.....	29
2.2.3.2.	Termoformado	31
2.2.3.3.	Rollo	32
2.3.	Equipo de extrusión.....	34
2.3.1.	Equipo principal.....	34
2.3.1.1.	Tolvas.....	34
2.3.1.2.	Cañón, husillo y motores principales	35
2.3.1.3.	Cambia mallas.....	38
2.3.1.4.	Dado.....	38
2.3.1.5.	Calandria	40
2.3.1.6.	Cama de rodillos y cuchillas	41
2.3.1.7.	Intercambiador de calor	41
2.3.1.8.	Tratador.....	42
2.3.1.9.	Rodillos jaladores	43
2.3.1.10.	Guillotina.....	44
2.3.1.11.	Embobinadora	44
2.3.1.12.	Control lógico programable y sus conexiones	45
2.3.2.	Equipo auxiliar.....	47
2.3.2.1.	Transformador eléctrico... ..	47
2.3.2.2.	Mezcladora	48
2.3.2.3.	Compresor.....	48
2.3.2.4.	Torre de enfriamiento	49
2.3.2.5.	Bombas hidráulicas	49
2.3.2.6.	Extractor de gases.....	50

	2.3.2.7.	Molino	50
3.		REACONDICIONAMIENTO EN EQUIPO.....	53
	3.1.	Equipo principal	53
		3.1.1. Motores principales.....	53
		3.1.2. Cambia mallas	55
		3.1.3. Dado	56
		3.1.4. Calandria	57
		3.1.5. Cama de rodillos y cuchillas.....	61
		3.1.6. Intercambiador de calor	63
		3.1.7. Rodillos jaladores.....	64
		3.1.8. Guillotina.....	65
		3.1.9. Embobinadora.....	66
	3.2.	Equipo auxiliar	67
		3.2.1. Compresor	67
		3.2.2. Torre de enfriamiento y bomba de agua	68
		3.2.3. Bombas hidráulicas.....	69
4.		REDISEÑO EN EQUIPO.....	71
	4.1.	Equipo principal	71
		4.1.1. Motores principales y su alimentación.....	71
		4.1.2. Cañón	73
		4.1.3. Calandria y control lógico programable	74
		4.1.4. Rodillos jaladores.....	75
		4.1.5. Guillotina.....	77
		4.1.6. Embobinadora y recepción de láminas	77
	4.2.	Equipo auxiliar	78
		4.2.1. Compresor y bomba de agua.....	79

4.2.2.	Molino.....	80
5.	VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD.....	81
5.1.	Reacondicionamiento.....	81
5.2.	Rediseño.....	81
5.3.	Costos.....	82
5.3.1.	Equipo a reacondicionar	82
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de polímeros según la estructura de su cadena	2
2.	Clasificación y uso común en plásticos	4
3.	Reseña histórica de polímeros	9
4.	Flujo de arrastre de extrusor	12
5.	Zonas del husillo y la evolución de la presión a lo largo de las mismas	12
6.	Diseño de reducción de coeficiente de fricción entre el material y el tornillo	13
7.	Boquilla de coextrusión	15
8.	Esquema de moldeo por transferencia.....	19
9.	Clases de moldeo por transferencia	20
10.	Diagrama de velocidad versus Temperatura de rodillos	22
11.	Fases de Inyección, soplado y estirado.....	23
12.	Listado de empaque de láminas.....	30
13.	Montaje de molde para termoformado.....	32
14.	Extrusores con aspiradoras y tolvas.....	37
15.	Dado y cambia mallas en extrusora	39
16.	Calandria y motores eléctricos	41
17.	Rodillos jaladores, tratador y módulos de intercambiador de calor en extrusión	43
18.	Diagrama de conexión principal PLC	46
19.	Diagrama de conexión a motores de extrusión PLC.....	46
20.	Tabla de especificaciones técnicas de molino.....	50

21.	Filtro de sistema de ventilación.....	54
22.	Tapa de aceite del reductor principal	55
23.	Variedad de mallas metálicas para extrusión.....	56
24.	Rodillo central con tornillos de sujeción y topes con guías con grasa contaminada	61
25.	Cama de rodillos y cuchillas	62
26.	Mangueras en intercambiador de calor.....	63
27.	Columpio de guillotina y rodillos jaladores en extrusión, con uno de ellos anulado	64
28.	Sistema de sujeción en guillotina.....	65
29.	Sistema de embobinado en operación.....	66
30.	Compresor vertical en condición actual	68
31.	Bomba de agua en torre de enfriamiento.....	69
32.	Rediseño en tolva de alimentación	73
33.	Rediseño y sustitución de resistencias herméticas a abrazadera	74
34.	Original y rediseño en rodillos jaladores	76
35.	Toma de molino y tubería actual en compresor	80

TABLAS

I.	Codificación internacional de plásticos	3
II.	Datos técnicos de extrusor SJ120	36
III.	Datos técnicos de coextrusor SJ65.....	37
IV.	Datos de pernos milimétricos en el mercado	59
V.	Datos de pernos grado SAE en el mercado.....	60
VI.	Listado de cotización en reacondicionamiento y rediseño	83

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios.
Θ	Ángulo theta.
HP	Caballos de Fuerza.
cm	Centímetros.
AC	Corriente Alterna.
DC	Corriente directa.
Cr	Cromo.
D	Diámetro.
Tan	Función trigonométrica tangente.
°C	Grados Celsius.
kg/cm²	Kilogramo sobre centímetro cuadrado.
kg	Kilogramo.
kHz	Kilohertzio.
L	Largo.
psi	Libras sobre pulgada cuadrada.
l	Litros.
Mn	Manganeso.
kW	Medida de potencia, kilovatio.
MPa	Megapascales.
m	Metro.
m³/min	Metros cúbicos sobre minuto.
msnm	Metros sobre el nivel del mar.
mm	Milímetros.

m	Minutos.
Mo	Molibdeno.
Q	Moneda oficial guatemalteca, quetzales.
π	Número Pi.
scfm	Pies cúbicos sobre minuto (<i>standard cubic feet per minute</i>)
%	Porcentaje.
”	Pulgadas.
RPM	Revoluciones por minuto.
Ti	Titanio.
V	Voltios.

GLOSARIO

Acero inoxidable	Acero con un mínimo de 10% de aleación con cromo en su masa.
Aditivos	Elementos químicos que modifican las propiedades físicas de los polímeros.
ASTM	American society for testing and materials.
Barril o cañón	Cilindro que alberga al husillo o tornillo de extrusión.
Catalizador	Es la sustancia encargada de acelerar una reacción química.
Celuloide	Material polimérico constituido de nitrocelulosa y alcanfor.
Cera perdida	Es un ensayo de moldeo, usado para obtener piezas metálicas a partir de un prototipo generalmente modelado por cera de abeja.
Electroválvula	Diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto con un funcionamiento electromecánico.

Embrague	Transmisión de energía mecánica a partir de la tracción generada por rodillos a la lámina.
Fibra	Filamento o célula alargada que constituye tejidos.
Fricción mecánica	Fuerza de rozamiento entre dos superficies en contacto.
HDPE	Polietileno de alta densidad.
Humedad relativa	Es la humedad que contiene una masa de aire conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.
LDPE	Polietileno de baja densidad.
Material cerámico	Tipo de material inorgánico con propiedades de aislamiento de calor y corriente eléctrica asimismo, como propiedades de alta resistencia a la deformación.
Material reciclado	Materia prima obtenida de la trituración de piezas anteriormente procesadas.
Material virgen	Materia prima que no ha sido procesada anteriormente.

Mecanizado	Proceso de fabricación que consiste en operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material.
Módulo de elasticidad	Valor de la reacción con una medida relacionada a una tensión y una a la deformación.
Monómero	Moléculas simples o individuales de pequeña masa molecular.
MUPI	Muebles urbanos para la presentación de información.
Nitruración	Tratamiento termoquímico empleado en metales para incrementar la dureza superficial de alguna pieza.
OPI	Objetos publicitarios iluminados.
PET	Tereftalato de polietileno.
PLC	Control lógico programable.
Polibutadieno	Se obtiene por medio de la polimerización del butadieno y viene contenido en pequeñas cantidades en el poliestireno de alto impacto.

Polímero	Cuerpo obtenido por la polimerización, obteniendo macromoléculas, constituyendo un alto peso molecular.
<i>Polystretch</i>	Producto polimérico usado para el empaque, protección y cuidado de algún objeto por medio de embalaje.
PP	Polipropileno.
Productividad	Es la relación entre la cantidad de productos obtenida y los recursos utilizados para obtener dicha producción.
PS	Poliestireno.
PVC	Policloruro de vinilo.
Resiliencia	Magnitud que cuantifica la cantidad de energía por unidad de volumen que almacena un material al deformarse elásticamente debido a una tensión aplicada.
Resina	Sustancia viscosa e insoluble en agua y soluble en alcohol, inflamable.
SAE	Society of automotive engineers.
Silicón	Polímero incoloro e inodoro obtenido generalmente del silicio.

Sintético	Formación artificial de un cuerpo compuesto por la combinación de elementos independientes.
Termoestable	Sustancias infusibles e insolubles.
Termopar	También llamado termocopla, es un transductor formado por dos tipos de metales que emite un voltaje creado por la diferencia de temperaturas en los dos extremos.
Termoplástico	Sustancia que se ablanda por efecto de calor.
Tolva	Dispositivo similar a un embudo que dosifica material pulverizado o en granos.
Troquelado	Es el proceso de utilizar un instrumento con bordes cortantes para recortar o estampar por presión una forma determinada.
Variador de frecuencia	Sistema de control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna por medio del control de la frecuencia de alimentación.
Velocidad angular	Medida de la velocidad de rotación.
Vibración	Propagación de ondas elásticas afectando un cuerpo en equilibrio, involucrando deformaciones y tensiones dentro del mismo.

Viscosidad

Es la oposición de un fluido a deformarse cuando le es aplicada una fuerza tangencial.

RESUMEN

Las demandas de productos y servicios de la población suben paralelamente con el desarrollo de la economía industrial en el país, por lo que la calidad de dichos productos se vuelve una necesidad primordial para ganar un puesto importante en el mercado. En este caso, el mercado publicitario es donde la venta del producto realizado por la planta de fabricación de láminas de poliestireno, es donde se realizó la propuesta de reacondicionamiento, pues, se enfoca al máximo y esta dependerá del equipo de trabajo, herramientas y maquinaria existentes.

El proceso de obtención de láminas de poliestireno exige su calidad a partir de los operadores en función y por tanto, de que la maquinaria esté en condiciones óptimas de trabajo. Si se enfoca una meta general en la realización de este trabajo, deberá ser la de mejorar las condiciones laborales dentro de la planta para que se facilite la transformación de la materia prima, para obtener una calidad competente en el mercado actual y así lograr ver los resultados de la inversión propuesta en el presente documento.

Es de aquí donde se parte que los conocimientos de ingeniería aplicados, juegan un papel importante en la búsqueda de metas comunes y de soluciones a problemas existentes que retrasan y complican la producción. Un ajuste en los equipos principales y auxiliares de una extrusora, presentan un reto que deberá sobrellevarse de la manera más profesional posible, logrando más acciones a favor que complicaciones con otros ámbitos, como por ejemplo, gastos innecesarios, traslapes con producciones importantes, problemas de mano de obra que solo reducirán las horas de trabajo favorables, etcétera.

A partir de esto es posible determinar que una planeación adecuada de cotizaciones, diseño y puesta en marcha de obra, beneficiará en gran medida, al proyecto en propuesta, donde un reacondicionamiento de los puntos críticos y un rediseño de ser necesario, dependerán de una coordinación entre el Departamento Administrativo, el Departamento de Producción y el Departamento de Mantenimiento. Cada uno de estos se enfocará en la misión y visión de la empresa y definirán pasos primordiales de realización de tareas.

Junto con esto entra la conservación y aprovechamiento de energía al máximo, para lograr una mejora de maquinaria económicamente favorable, en la que se obtengan los resultados deseados, menor gasto de recursos, siendo considerados estos las horas hombre, herramientas y tiempos muertos que permitan concluir los cambios diseñados con éxito.

OBJETIVOS

General

Proponer un reacondicionamiento para el equipo de una extrusora de láminas de poliestireno para mejorar el funcionamiento y eficacia de su producción.

Específicos

1. Mencionar breve información de los polímeros termoplásticos, haciendo énfasis en el poliestireno y en el proceso de extrusión.
2. Describir técnicamente los equipos y materiales que se involucran en la extrusión.
3. Proporcionar los datos de manejo de equipo junto con sus ajustes que se acoplarán a la propuesta de reacondicionamiento.
4. Detallar los problemas más frecuentes que se presentan en el equipo de extrusión y proponer soluciones a los mismos.
5. Establecer procedimientos para rutinas de mantenimiento preventivo que ayudarán como base para un mantenimiento correctivo de reacondicionamiento y rediseño.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, en los que la industria mundial se ha ido desarrollando a un paso acelerado, muchas nuevas ideas han sido aplicadas para convertir los procesos de producción en operaciones eficientes y controladas; esto con el objeto de evitar la pérdida de materiales, tiempo y energía, reduciendo los costos innecesarios para llevar la productividad al máximo.

La industria del plástico, su manufactura y su transformación no es la excepción; los polímeros han formado parte importante en la vida cotidiana de las personas, se los ve en envases de alimentos, productos de belleza, medicamentos, accesorios personales, vehículos, herramientas entre muchos otros, lo que ha creado una demanda considerable en el mercado internacional, obligando a que los procesos de producción se enfoquen cada vez más hacia sociedades con necesidades cambiantes.

El plástico y sus derivados, proviniendo del petróleo desde el perfeccionamiento de su refinación y producción en los últimos noventa años. Esto ha causado grandes conflictos económicos, ambientales y sociales que han repercutido en la situación mundial actual; ya que muchos de los productos de gran consumo provienen de este compuesto orgánico y afectan, por su demanda, dichos sectores, haciendo que su precio aumente a nivel mundial siendo, para muchas propuestas, un negocio muy rentable aunque con necesidad de inversiones considerablemente grandes.

En Guatemala, con una industria en vías de desarrollo a nivel mundial, se encuentran muchas empresas que establecen, enfocan y mejoran sus procesos de producción a partir de ejemplos de empresas internacionales que en la industria del plástico exigen altos estándares de calidad, llevando a cabo inspecciones desde la obtención de la materia prima, hasta el proceso de distribución y mercadeo de los productos finales.

Sin embargo, al tener una demanda en crecimiento, la capacitación y creación de programas de desarrollo para colaboradores, con respecto al manejo de la producción y transformación de plásticos, se torna en un proyecto completamente necesario, ya que en la educación y formación de las personas laboralmente activas se encuentran las bases de una economía más estable y equitativa que lleva a un país a mejorar las condiciones de vida, reducir los índices de pobreza, entre otros indicadores sociales.

Por lo anterior, los institutos privados y públicos tienen en sus manos la optimización de los recursos que poseen para que los conocimientos teóricos, tecnológicos y de herramientas lleguen a la población, dando lugar a un avance en la exigencia de nuevos estándares de calidad en manufactura y consumo de productos en un sistema socioeconómico, que en la actualidad carece de amplio criterio ecológico y autosostenible.

Ecológicamente la Tierra ha sufrido cambios extremos, que se han marcado en los últimos cien años como nunca, haciendo necesario una preocupación que ha llevado a la creación de programas amigables con el ambiente, programas de educación, programas de reciclaje, entre muchos otros a nivel mundial, siendo los países centroamericanos unos de los más atrasados en el sentido de la conservación energética y cuidado ecológico aún cuando existen grupos que impulsan el ejercicio de dichos programas.

Es por esto que al presentar un proyecto de reacondicionamiento de equipo de una maquinaria de extrusión, se pretende que el correcto procedimiento en las tareas de compra, uso de materia prima, producción, acabado de producto final y otras tareas adyacentes en la planta de extrusión sean enfocadas hacia una mejora sostenible de la maquinaria y por lo tanto de la empresa, que dé el ejemplo hacia otros colegas e incluso competencia comercial.

En términos de ingeniería, la energía es el elemento máspreciado para realizar un trabajo, por lo tanto su generación y consumo son de gran importancia económica y prácticas correctas de funcionamiento hacen la diferencia entre una producción eficiente y por consiguiente eficaz. Un programa de mejora y rediseño ayuda a obtener los mejores resultados a partir de ejercicios simples hasta procedimientos complejos que involucran a muchos de los colaboradores de la empresa; es por esto, que una cultura de conservación y sostenibilidad se fomenta desde el ingreso del trabajador, explicando que sus procesos repercuten en las labores de los demás y de la misma planta, haciendo que la economía en general recargue en cada uno de los minutos aprovechados y objetivos logrados en un cien por ciento.

Esta filosofía de productividad total garantiza la evolución de la cultura de eficiencia al máximo, aprovechando no solo la energía eléctrica, térmica y mecánica sino también la fuerza humana para lograr objetivos con resultados satisfactorios en el producto final.

1. POLÍMEROS Y SU TRANSFORMACIÓN

1.1. Polímeros

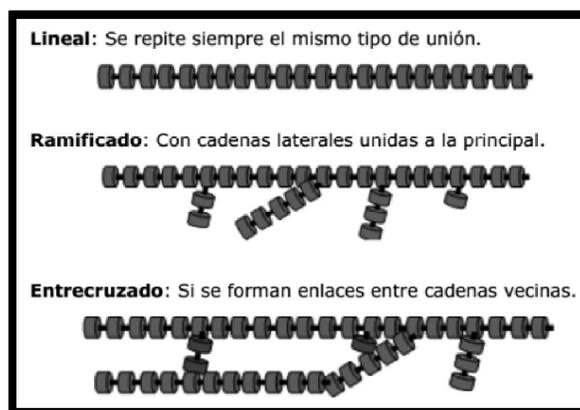
El término plástico, es muy popular alrededor del mundo, muchos instrumentos, herramientas y equipos usados en las actividades de la vida cotidiana están fabricados de dicho material; es por esto que al ser una palabra tan utilizada tiende a ser confundida como su nombre, ya que plástico es, de hecho, el estado en que se procesa, no el nombre del material en sí. Los diferentes procesos de manufactura a los que son sometidos hacen que sus propiedades, tipos y características varíen, haciéndolos perfectamente funcionales para algunas aplicaciones y otras en las que sus propiedades carecen de los requerimientos básicos.

Los materiales plásticos son formados por moléculas gigantes, llamadas polímeros, que se caracterizan por estar conectadas linealmente, ramificadamente o entrecruzadamente, haciendo que sus características elasticidad y flexibilidad tengan un intervalo definido. Está formado a partir de un proceso de polimerización de monómeros y el componente principal es el carbono. Estas moléculas por lo general, provienen de un origen natural o sintético, como por ejemplo, la cera y el nailon, respectivamente.

Los polímeros usados en muchas aplicaciones se diferencian en dos grandes grupos, los cuales influyen directamente en el proceso de producción y transformación.

Cuando se trabaja con polímeros termoplásticos, de moléculas formadas linealmente o ramificadamente, se usa calor para ablandarlos y luego moldearlos y si es con polímeros termoestables, con moléculas entrecruzadas, no es posible ablandarlos con calor.

Figura 1. **Tipos de polímeros según la estructura de su cadena**



Fuente: investigaciones Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España,
http://www.unizar.es/actividades_fq/identificacion_plasticos/documentos/intro_polimeros.pdf. Consulta: julio de 2012.

1.1.1. Tipos y sus características

El desarrollo en la historia de estos materiales inicia, por supuesto, con intentos de prueba y error, en 1860 cuando el inventor estadounidense Wesley Hyatt logra el procesamiento de su producto patentado como celuloide y en 1906 por el químico Leo Hendrik Baekeland con quien fue comercializado el material conocido como baquelita.

“En las décadas de 1920 y 1930 apareció un buen número de nuevos productos, como el etanoato de celulosa (llamado originalmente acetato de celulosa), utilizado en el moldeo de resinas y fibras y el policloruro de vinilo (PVC), empleado en tuberías y recubrimientos de vinilo.”¹ A partir de los avances de la tecnología se arrancó con la producción en masa de los diferentes polímeros y su diferente clasificación: según su monómero base, según su comportamiento ante el calor, según la reacción de síntesis, según su estructura molecular y los elastómeros o cauchos.

Tabla I. **Codificación internacional de plásticos**

Tipo	Tereftalato de polietileno	Poli-etileno de alta densidad	Cloruro de alta densidad (policloruro de vinilo)	Poli-etileno de baja densidad	Poli-propileno	Poli-estireno	Otros
Abreviatura	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	Other
Código	1	2	3	4	5	6	7

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Plástico>. Consulta: julio de 2012.

Esta codificación está impresa en los productos plásticos encerrados en el símbolo internacional de reciclado, un triángulo formado por tres flechas con el objeto de un proceso correcto de reciclado.

¹ COPESA, <http://www.profesorenlinea.cl/mediosocial/plastico.htm>. Consulta: julio de 2012.

Figura 2. Clasificación y uso común en plásticos

Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Poliétileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Poliétileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
Poliétileno de baja densidad	PEBD		Film adhesivo, Bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego.	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Policloruro de vinilo	PVC		Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores
Polipropileno	PP		Envases para productos alimenticios, Cajas, tapones, piezas de automoviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas multiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

Fuente: Fundación NADBIO. <http://blogproeco.blogspot.com/2011/10/reciclaje-de-plastico-que-y-como.html>. Consulta: julio de 2012.

1.2. Procesos de manufactura

Así como el origen, el mecanismo de polimerización y composición química del material polimérico son objeto de la clasificación de los diferentes polímeros, la aplicación y su comportamiento ante la temperatura en la industria, hace que se genere una clasificación diferente para los mismos:

Por su aplicación:

- Elastómeros: con bajo módulo de elasticidad y alta resiliencia, regresan a su forma inicial después de aplicárseles un gran esfuerzo.
- Plásticos: si se les aplica una fuerza de gran magnitud se deforman irreversiblemente.
- Fibras: estos son usados para crear tejidos, ya que con un alto módulo de elasticidad soportan esfuerzos de tensión considerables.
- Recubrimientos: sustancias que se adhieren para agregar algún tipo de propiedad.
- Adhesivos: son los materiales con propiedades para unir con alta cohesión dos o más cuerpos a partir de su contacto superficial.

Por su comportamiento ante la temperatura:

- Elastómeros: son deformados fácilmente y esto sin que se rompan sus enlaces o su estructura sea modificada permanentemente.
- Termoestables: estos materiales se deforman con calor, aunque no existe una fluidez pronunciada por los casi nulos desplazamientos relativos entre sus moléculas.
- Termoplásticos: después de sufrir la fundición, recuperan las propiedades originales, ya que su estructura molecular presenta pocos entrecruzamientos.

A continuación se listan ejemplos de los polímeros más comunes y su uso en el mercado:

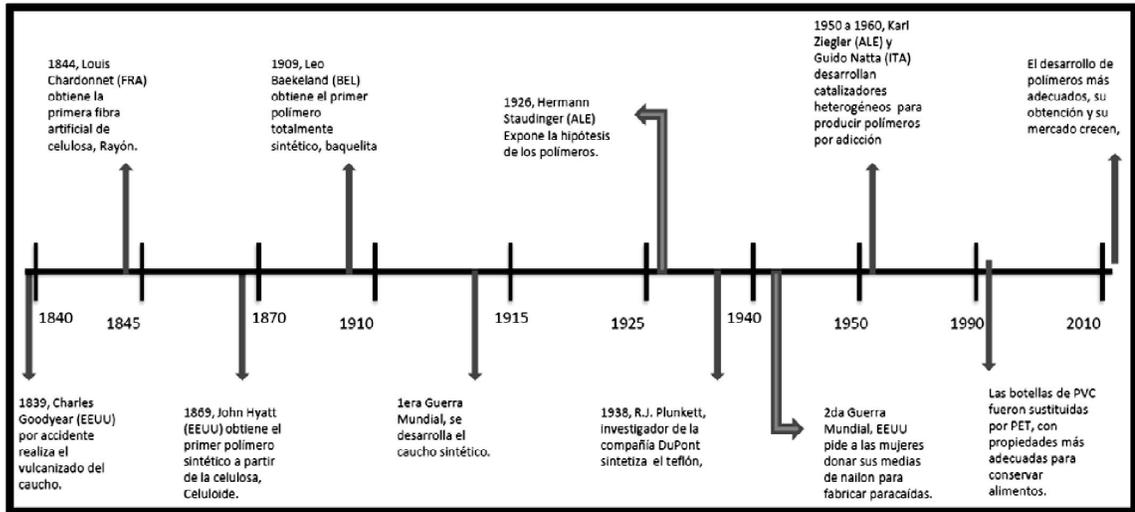
- Polietileno (PE): inerte químicamente y aislante térmico: tuberías, persianas, bolsas, botellas, film transparente, etcétera.
- Polipropileno (PP): versátil e igualmente termoplástico: alfombras, juguetes, fundas de CD, aplicaciones farmacéuticas y médicas, etcétera.
- Policloruro de vinilo (PVC): duro y resistente, no biodegradable y dañino en forma de gas: envases, tuberías, discos, películas, etcétera.
- Politetrafluoretileno (PTFE): conocido como teflón, no se oxida, es insoluble y no reacciona con ácidos y bases: en industria, fontanería, medicina y cocina.
- Caucho sintético (elastómero): neumáticos, pulseras en relojería, etcétera.
- Nailon (poliamida): resistencia a la rotura, no inflamable, usado generalmente para fibras textiles, el nailon 6,6 es el más popular y conocido y el 6,10 también llamado nailon 6, tienen ciertas diferencias en su fabricación, algunas propiedades de oxidación y de resistencia.
- Kévlar (poliamida): polímero más fuerte que el acero, ligero, resistente al fuego y no biodegradable: chalecos antibalas, paracaídas, trajes espaciales, raquetas de tenis, etcétera.

- Polietilentereftalato (PET): también llamado dracón, pertenece a los termoplásticos y con propiedades de no arrugarse: envasados y productos médicos.
- Baquelita: perteneciente a los termoestables, fue uno de los primeros polímeros sintéticos desarrollados: enchufes, teléfonos, utensilios de cocina, etcétera.
- Poliuretanos: fibras usadas para colchones y fibras tipo lycra.
- Policarbonatos: cristales de seguridad.
- Resinas epoxi: usadas en pavimentos y pinturas.
- Siliconas: inorgánicas y orgánicas a la vez por alquilos y silicio. Usados en lubricantes, adhesivos, aplicaciones médicas, etcétera.
- ABS: acronitrilo butadieno estireno, plástico de ingeniería, resistente al impacto: usado en la industria automotriz.
- Poliestireno (PS): también termoplástico, duro, con diferentes aplicaciones por sus cuatro variaciones: cristal, de alto impacto, extruido y expandido. Usado en envases, aislantes, películas, cubiertos, manualidades. Fue obtenido por primera vez en 1930 en Alemania, este poliestireno en estado puro es llamado poliestireno cristal o poliestireno de uso general (general purpose polystyrene, GPPS) que si se encuentra por debajo de 95 grados centígrados, es vítreo, mientras que si sube es más blando para su moldeado.

- Otro material de la familia es el poliestireno expandido, que es en un 95% poliestireno y en un 5% gas que crea burbujas reduciendo su densidad. También existen los copolímeros como por ejemplo el polibutadieno que permite que su resultante del injerto sea el poliestireno de alto impacto (high impact polystyrene, HIPS) o como el termopolímero ABS.
- “Los aditivos para los polímeros en HIPS mejoran las propiedades de impermeabilidad y flexibilidad y proporcionan una adherencia más fuerte, cualidades todas ellas que son muy importantes para un revestimiento. El HIPS tiene el potencial para formar delgados revestimientos ignífugos sobre estructuras de madera, como por ejemplo, los tablones para construcción y sobre metales como el acero estructural o acero galvanizado. También puede proteger al enladrillado, tanto en forma de un recubrimiento muy delgado como con uno más grueso al estilo del enyesado. El HIPS puede ser aplicado mediante atomizador, rodillo o brocha y se afianza a temperatura ambiente.”²

² <http://www.amazings.com/ciencia/noticias/240709d.html>. Consulta: julio de 2012.

Figura 3. Reseña histórica de polímeros



Fuente: RODRÍGUEZ PORCA , Pedro R. Polímeros. www.xente-r.com/explora/quimica3/polimeros.pdf. Consulta: julio de 2012.

1.2.1. Tipos de procesos

Cuando se define la transformación de los polímeros a sus diferentes aplicaciones, se incluyen las tareas y procedimientos bajo los cuales la materia prima es usada para desarrollar los productos finales.

1.2.1.1. Inyección

Este es el método más común para producir productos vendidos en el mercado, el proceso consiste en inyectar el polímero termoplástico fundido en un molde con la forma de la pieza final a una presión considerablemente alta. Una vez el material se enfría y se solidifica, el molde se abre para extraer la pieza.

Es muy versátil, ya que con este proceso se pueden obtener partes con agujeros, resortes, roscas y cortes de precisión en la misma operación, haciendo que las partes sean complejas o simples, gruesas o delgadas, pequeñas o grandes y flexibles o rígidas.

Las máquinas de moldeo por inyección abundan en cantidad y modelos, pero por lo general están compuestas en dos partes, el sistema de inyección y el sistema de sujeción o extracción. El primero es el encargado de mantener el material termoplástico a su viscosidad apropiada y luego inyectarlo en el molde. Para lograr esto usa partes importantes:

- La tolva de alimentación que puede ser llenada manual o automáticamente, en ocasiones se le adapta un sistema de secado para extraer la humedad del material y que no genere gases durante su plastificación.
- El husillo o tornillo reciprocante, que consta de tres partes: zona de transporte, zona de plastificación y zona de distribución.
- Todas en un barril de calentamiento, en donde resistencias eléctricas compensan la pérdida de calor por radiación y ayudan a alcanzar la temperatura final del material.
- Motores hidráulicos son los encargados del movimiento angular del husillo y en algunos casos, axial para la inyección. El flujo del material depende de la velocidad de plastificación, presión aplicada en la zona de distribución del husillo, dependiendo del diseño y de la aplicada axialmente en la inyección, que en muchos casos ronda los 1 700 y 2 100 kilogramos sobre centímetros cuadrados.

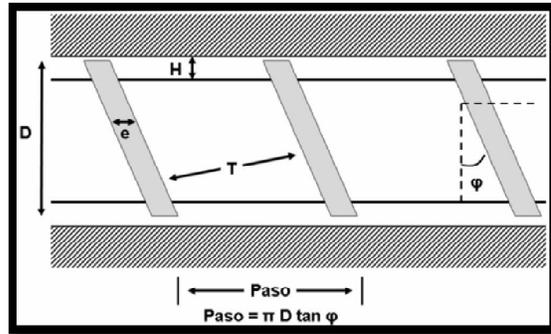
Luego está el módulo del sistema de sujeción o extracción que es donde se encuentra el molde de inyección; para lograr una correcta producción, las variables a observar son la temperatura del mismo, así como, el tiempo de enfriamiento del material, del tiempo de aplicación de la presión y la velocidad de cierre y abertura del molde.

1.2.1.2. Extrusión

Es un proceso continuo y de gran volumen de producción, en el que el material termoplástico es transformado en un fluido viscoso a través del calentamiento por resistencias eléctricas y la fricción mecánica. Este material es forzado a salir en la forma predeterminada del diseño que tenga el dado de extrusión, como pueden ser barras, tubos y ángulos, hojas, filmes flexibles, bandas, hilos y aislamientos para alambres.

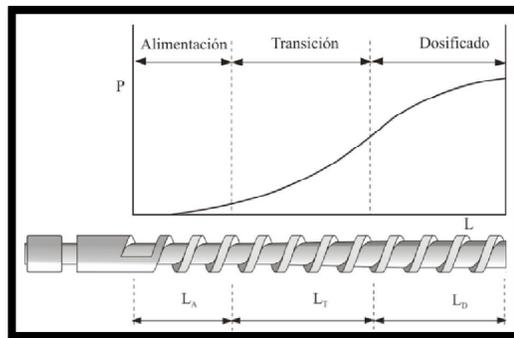
Al igual que en la inyección, consta de casi los mismos equipos para su producción, las tolvas de alimentación, cañón con husillo reciprocante y con muchas variaciones en sus diseños como pueden ser husillos convencionales, con venteo o desgasificación, comezcladores, de husillo múltiple, con configuraciones de engrane y no engrane, entre otros.

Figura 4. **Flujo de arrastre de extrusor**



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Extrusi3n_de_pol3mero. Consulta: julio de 2012.

Figura 5. **Zonas del husillo y la evoluci3n de la presi3n a lo largo de las mismas**



Fuente: BELTRÁN, M.; MARCILLA, A. Tecnología de pol3meros, extrusi3n p. 106.

En todos los diseños existen errores comunes posibles de evitar, por ejemplo, los ángulos, el paso de los álabes o filetes, así como, su distancia al cilindro deben ser estudiados y manufacturados con las especificaciones correctas para evitar estancamientos y flujos incorrectos por la fricci3n.

Figura 6. **Diseño de reducción de coeficiente de fricción entre el material y el tornillo**

Características del tornillo	Diseño adecuado	Diseño defectuoso
Número de filetes	Sencillo 	Doble 
Ángulo del filete	Grande 	Pequeño 
Radio del flanco del filete	Grande 	Pequeño 

Fuente: BELTRÁN, M.; MARCILLA, A. Tecnología de polímeros, extrusión, p. 106.

Según Beltrán y Marcilla, “La longitud del tornillo no afecta el flujo de arrastre pero sí que afecta al flujo de presión” ³, haciendo que la longitud y profundidad del canal y barril sean factores que también afecten el proceso de extrusión.

El dado de extrusión es el encargado de dar la forma final a la salida del material, dependiendo si es para perfiles, tuberías, película para soplado, calandrado entre otras. En este es posible ajustar los diferentes parámetros que llevarán al producto final, como por ejemplo, el calibre o grosor, la distribución de material, la posición o alineación de salida de material.

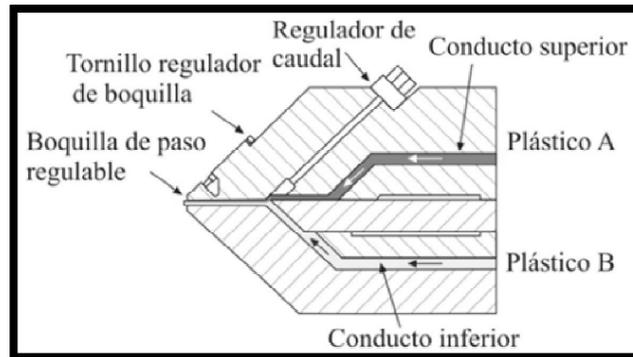
³ BELTRÁN M. y MARCILLA A. <http://iq.ua.es/TPO/Tema3.pdf>. Tecnología de polímeros, extrusión p 122. Consulta: julio de 2012.

El sistema de calibrado debe actuar en conjunto con el motor de la máquina para modificar el caudal, sobre los sistemas de enfriamiento y calentamiento, el sistema de tensionado y sistemas de corte final.

La tensión de la lámina, perfil o tubería, al salir del dado, es el sistema de rodillos o bandas jaladoras, que por lo general son de un material con un alto coeficiente de fricción y que no dañe el acabado final como el caucho o cualquier otro elastómero. Y luego el sistema de corte, por lo general una guillotina que funciona con equipo hidráulico o neumático a la cual le es ajustada la velocidad de corte, es el que se encarga de determinar las medidas finales solicitadas en el producto final.

También existe el proceso de mezclado de material y coextrusión, en los cuales se pretende obtener un producto a partir de varios tipos de materia prima. El mezclado es la simple combinación del producto inicial antes de pasar por las etapas del husillo, mientras que la coextrusión consiste en la mezcla de dos capas del polímero A, B, C, etcétera, a la salida del dado, haciendo que se obtengan dos o más capas de diferentes materiales, para esto es necesario el uso de dos o más cañones de extrusión.

Figura 7. **Boquilla de coextrusión**



Fuente: BELTRÁN M.; MARCILLA A. Tecnología de polímeros, extrusión, p. 164.

1.2.1.3. **Vaciado**

En resumen es el proceso primario usado para crear piezas de espesores grandes. Similar al ensayo de cera pérdida en metalurgia, se procede a usar materiales en los que se pueda crear un molde con la figura deseada por lo general se usa silicón, desmoldantes, catalizadores, el material a usar y se suele usar algún agente como refuerzo de mezcla. Factores importantes de observación son el desmoldado y el acabado, ya que cada una de las etapas del proceso hacen que se dé un efecto en cadena que afectará cada paso, como por ejemplo, una aplicación del material muy rápida y poco uniforme podría generar burbujas durante su secado, haciendo que el acabado de la pieza final sea rústico y prácticamente poco aceptable.

1.2.1.4. Rotomoldeo

Este proceso consiste en la elaboración de recipientes con varias capas del mismo o diferentes materiales. Consta de moldes giratorios a los cuales les es introducido el material en forma de polvo y luego son sellados, calentados y puestos en rotación. Las temperaturas de trabajo se encuentran entre 250 y 400 grados Celsius. Luego los moldes son enfriados para extraer las piezas finales, las cuales son huecas y cerradas preparadas para su posterior mecanizado de ser necesario.

El rotomoldeo tiene varias ventajas entre las que se encuentran su versatilidad para la obtención de piezas de diferentes formas y tamaños, la baja inversión de su costo inicial, incluyendo moldes, maquinaria y costos de producción, la amplia gama de espesores posibles, bajos desperdicios y que es un proceso casi cien por ciento automatizable.

Aunque también se toman en cuenta sus desventajas, como lo son la precisión dimensional, el control del comportamiento del material, su viscosidad puede ser afectada por las condiciones de humedad y de aplicación de calor y su variación en la forma de enfriamiento.

1.2.1.5. Termoformado

Consiste en dar forma a una lámina o plancha de material polimérico termoplástico aplicándole calor, colocándolo sobre un molde previamente diseñado y conformarlo a partir de presión al vacío entre el mismo molde y el material o por medio de un contra molde.

Por lo general, existen problemas de adelgazamiento en la lámina conformada por el estiramiento en las aristas según la forma a la que se adapte y es por esto que existen varias técnicas de termoformado, en las que se modifican ciertas características, como por ejemplo:

- El molde sea un simple macho o hembra.
- Se tengan dos moldes coincidentes.
- Se usa un núcleo (precalentado) y una burbuja de aire, generalmente usado para geometrías muy profundas.
- Usando un relieve para conformar.
- Conformado libre en el cual se usa presión para dar la forma del molde, generalmente hembra.

Luego de obtener la pieza termoformada se procede a su acabado el cual puede variar desde un simple troquelado hasta cortes más finos, armado de piezas por algún tipo de adhesivo o pieza metálica y pintura e instalación.

1.2.1.6. Compresión

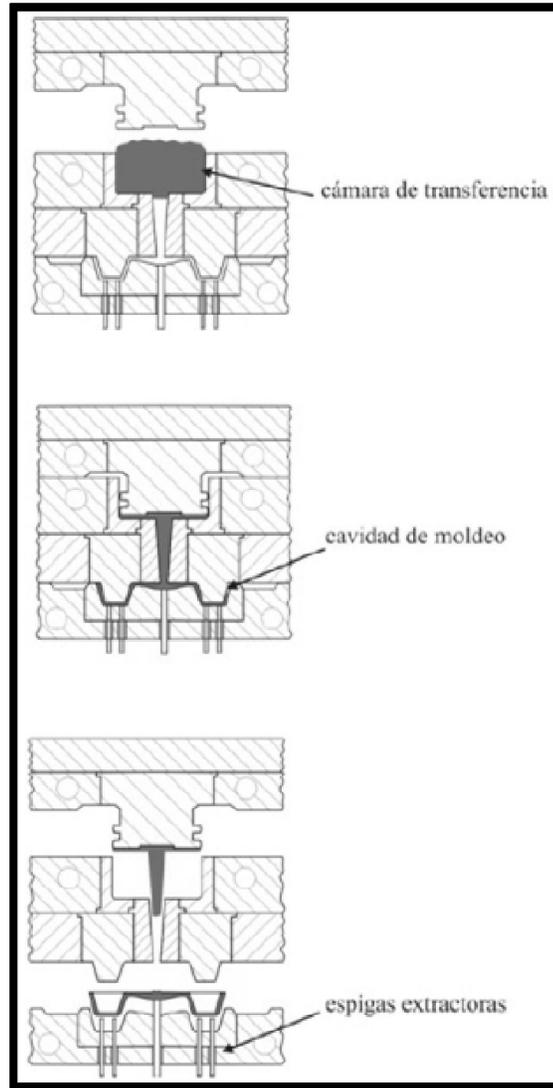
Cuando se obtiene una pieza de algún tipo de polímero termoestable por medio de la compresión se tiende a confundir con el termoformado, pero difieren en el orden de algunos pasos y el resultado final. Es descrito como el proceso en el que el material es introducido a un molde en el que por presión adquiere la forma del mismo y por calentamiento termina de definirse la forma final.

1.2.1.7. Transferencia

Es un desarrollo a partir del moldeo por compresión, en el que el material a moldear es colocado en una cavidad por la que, por medio de presión aplicada, es transferida por los conductos que lo llevan hasta la serie de canales que le dan su forma final. Por tanto, se dice que es un proceso híbrido entre la inyección y la compresión.

Por lo general, se usan polímeros termoestables y elastómeros para este proceso, como por ejemplo, los poliuretanos, resinas epoxi, poliéster entre otras, con los cuales se trabajan con presiones entre 5,5 y 7 megapascales en tiempos menores a 10 segundos. Una de las principales ventajas de usar el moldeo por transferencia es que se pueden fabricar piezas con diferentes inserciones como microconductores, algunas piezas de metal, compuestos de fibras secas, piezas cerámicas, etcétera. Haciendo que este proceso sea el ideal para la creación de circuitos integrados y partes usadas en los diferentes componentes electrónicos.

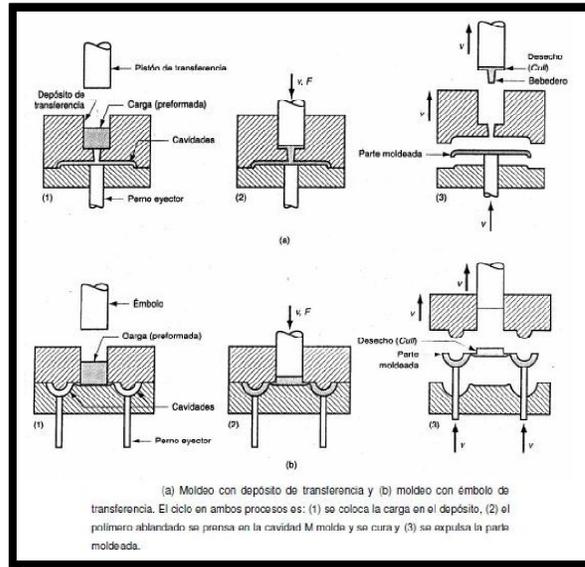
Figura 8. Esquema del moldeo por transferencia



Fuente: www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-transferencia.

Consulta: julio de 2012.

Figura 9. Clases de moldeo por transferencia



Fuente: www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-transferencia.

Consulta: julio de 2012.

1.2.1.8. Calandrado

La calandria es una máquina compuesta por una serie de rodillos que cumplen la función de dar una hoja lisa o plancha con cierta textura superficial y definido grosor a partir de la presión aplicada entre ellos. El proceso por lo general es dividido en cuatro partes importantes:

- Alimentación: por lo general proviene de bobinas ya prefabricadas de polímeros o de algún otro proceso como la extrusión, en ocasiones se realiza con un material en estado de gel.

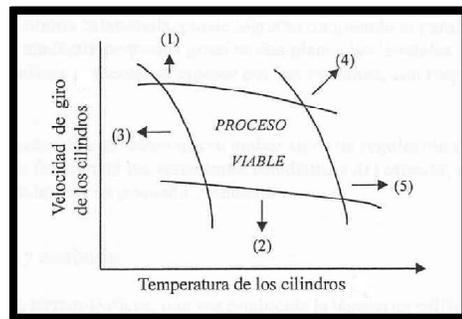
- Paso por los cilindros: consiste en aplicar la presión, velocidad y temperatura adecuadas a cualquier tipo de disposición o diseño de cada uno de los cilindros en distancias, largos y diámetros de los mismos.
- Calibración y enfriamiento: aquí se le da el acabado final a la lámina, en donde es recortada a las dimensiones requeridas de su ancho y su enfriamiento, ya sea por inmersión en agua o por aire, termina su contracción hasta su dimensión de uso.
- Corte y bobinado: se corta en su medida a lo largo o es preparada en bobinas dependiendo el calibre o grosor solicitado.

Según las aplicaciones finales se pueden obtener en el calandrado acabados brillantes, mates, con texturas, con recubrimientos (una película de algún otro material) ó un proceso de laminación por el cual es posible unir por adhesivos o térmicamente dos láminas de diferente material. Todo esto es posible controlarlo a partir de la temperatura específica de los rodillos, la velocidad de cada uno y el ángulo entre los ejes de los mismos modificando así los momentos de torsión aplicados en la lámina a planchar. Como se explica en la figura 8. Se pueden obtener diferentes condiciones de trabajo obteniendo los siguientes resultados:

- Exceso de presión en cilindros.
- Bajo rendimiento en proceso.
- Homogenización deficiente.
- Degradación superficial.
- Degradación térmica en el material.

Y a partir de lograr un equilibrio entre las condiciones se obtiene un proceso continuo viable y rentable.

Figura 10. **Diagrama de velocidad *versus* Temperatura de rodillos**



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/calandrado.html>. Consulta: julio de 2012.

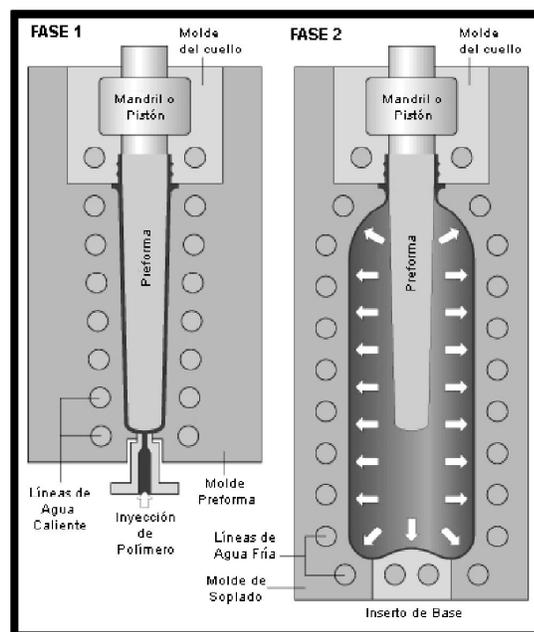
1.2.1.9. **Soplado**

En muchas bibliografías es descrito como un proceso de producción discontinuo donde una resina termoplástica es fundida para llevarla a una forma hueca que será procesada a través de la introducción de aire a presión para dar su forma final a partir de un molde.

Esta técnica de producción combina otros procesos como la extrusión, la inyección y el estirado para lograr el producto final, todos logran en sí el mismo resultado con algunas variaciones en los pasos iniciales:

- Extrusión–Soplado: consiste en un extrusor cuyo dado está a la entrada del molde del soplado, el cual corta el exceso y luego el aire es introducido para dar la forma a la preforma y luego de ser enfriada la pieza es extraída.
- Inyección–Soplado: el polímero es inyectado al molde de la preforma, donde es girada y colocada en la posición del molde del soplado para introducir el aire y continuar el proceso.
- Inyección–Soplado–Estirado: siendo el más conocido, consiste en introducir la preforma ya previamente inyectada al molde de soplado, para ser calentada y luego ser soplada para dar forma al producto final.

Figura 11. **Fases de Inyección, soplado y estirado**



Fuente: http://envases.elenaibarreche.com/index.php/Imagen:Blow_PET_Diagram.jpg.
 Consulta: julio de 2012.

2. ANTECEDENTES DE MAQUINARIA

2.1. Calandrado y su producto final

Conocido también como planchado, consiste en el proceso de hacer pasar el material, en este caso el poliestireno de alto impacto, extruido a través de rodillos a cierta temperatura y velocidad angular que crean el efecto de acabado final en las láminas o rollo, explicado en el capítulo anterior.

La alimentación para la extrusión se debe tomar en cuenta como uno de los pasos más importantes, ya que en función de la calidad de la mezcla inicial así será la del producto final. Por lo general, se toma material reciclado en un 85%, completándolo con 10% de material virgen y el 5% con aditivos, pigmentos o algún otro polímero, como por ejemplo, el polietileno, ya que en su mayoría estos últimos son hechos con base al mismo.

2.2. Proceso de extrusión

Desde el punto de la selección del proceso deseado que convenga al desarrollo del producto final, se determinan las circunstancias necesarias para tener un resultado final satisfactorio.

2.2.1. Condiciones ideales y constantes

A partir de obtener la mezcla homogénea del poliestireno reciclado y el virgen, se procede a la extrusión en sí, la cual está determinada en cantidad y parámetros por la producción planificada.

El calibre a producir es manejado con las velocidades de los motores de extrusión y coextrusión, así como, las temperaturas en todas las zonas, ya que en ocasiones cuando es necesaria una capa de poliestireno cristal en alguna de las caras de la plancha se trabaja con temperaturas más elevadas. Aún con estas variaciones en la planificación de la producción, permanecen constantes algunos parámetros de operación, haciendo que sea posible establecer una rutina de arranque y de control de maquinaria:

- Activar desde el centro de carga los interruptores o protectores de corriente necesarios. Aquí están distribuidos según el amperaje a trabajar y en la instalación de los equipos principales, como motores, resistencias, pantalla de control, etcétera. Y auxiliares como compresor, molino de reciclaje, mezcladora de material, torre de enfriamiento, etcétera.
- Luego se procede al encendido de la maquinaria: encendido de resistencias eléctricas, encendido de torre de enfriamiento para que circule el agua, encendido de módulos de intercambio de calor que controlan la temperatura de la calandria y los motores que hacen girar los rodillos.
- Al verificar que las temperaturas de las diferentes zonas de los cañones y rodillos llegaron a las establecidas, se puede proceder al arranque de los motores de extrusión, controlando que no exista una sobrepresión que dañe la maquinaria.
- Finalmente se procede al embrague del material extruido y calandrado, así como, a la calibración y refinación de la medida de la producción.

A partir de estos pasos constantes o de rutina en la producción se deben tomar en cuenta las variaciones que pueden existir en la situación ideal, que es en la que está basada la mayoría de información documentada de material, información técnica de la maquinaria y su comportamiento en su transformación. Las condiciones ideales se toman en cuenta cuando la humedad relativa del ambiente no supera el 50% y se tiene una temperatura promedio de 25 grados Celsius en donde su transmisión de oxígeno al subir su temperatura hará que varíe la gravedad específica en el momento de su plastificación generando gases que pueden afectar en la continuidad del flujo de poliestireno a la salida del dado.

Otro factor de condición ideal es que el material virgen y reciclado, no venga contaminado con otros cuerpos, como madera, metales u otras resinas que podrían afectar el producto e incluso causar daños que provocarían un mantenimiento correctivo en la maquinaria de extrusión. Aquí es necesario mencionar también el proceso de un mantenimiento preventivo programado, junto con acciones previstas de mantenimientos correctivos, ya que a partir de estos planes es posible lograr mayor disponibilidad y vida útil de los recursos, así como, mejorar la confiabilidad, condiciones de operación y trabajo, reducir costos por reparaciones y tiempos muertos de producción.

En la planta de extrusión es necesario que exista un ambiente laboral agradable y con un plan de seguridad industrial en un estado óptimo, ya que al ser un proceso continuo puede provocar condiciones de tensión laboral en los colaboradores, haciendo que se incremente el riesgo de incidentes y reducción de la calidad final del producto.

Al tener una planta enfocada en evitar incidentes, muchas bibliografías y estudios de seguridad industrial hacen referencia a decir que una planta más segura es una planta más productiva y esto es posible lograrlo si existe compromiso entre la administración y colaboradores de la planta extrusora.

2.2.2. Condiciones variables

Cuando están establecidos en un manual o ya sea por conocimientos empíricos, los procedimientos de rutina a seguir para la producción, es necesario enfocarse en los cambios o factores que puedan influir en la calidad del producto final o incluso en daños a la maquinaria.

Por lo general, una de las variables más notables son el origen del material virgen y reciclado, porque como se ha mencionado anteriormente, puede venir contaminado o ser contaminado en el lugar de almacenamiento por residuos de madera, metal o cualquier otro cuerpo que pueda dañar el husillo de extrusión, el dado o incluso los rodillos de cromo, como por ejemplo, el PVC (Policloruro de vinilo) que al entrar en contacto gaseoso con el cromo hace que la reacción química los dañe.

Incluida entre las condiciones variables también se encuentra el lugar de proveniencia o el proceso al que fue sometido el material reciclado, por ejemplo si viene de una molienda de piezas de inyección de poliestireno, su estructura molecular fue modificada y por tanto su viscosidad cinemática será mayor al momento de reprocesarlo en la extrusión, por lo tanto, es de tomar en cuenta que se trabajará con menor temperatura o se deberá usar en menor porcentaje en la mezcla.

Si en dado caso se detecta un problema en la producción final será necesario revisar cada uno de los componentes que pueden ser los causantes de dicho problema, ya que al ser un proceso continuo y de abundancia, el error puede afectar a una gran cantidad de producción.

2.2.3. Producto final

El objetivo principal de la empresa de extrusión se basa en brindar la mejor calidad de producto en el mercado a los clientes de poliestireno, por lo tanto, depende de todo el proceso que las ventas sean rentables.

2.2.3.1. Láminas

Este producto se obtiene a partir de procedimientos de calibración, refinación y corte final. Se procede haciendo una mezcla homogénea para toda la producción para que no varíe el color o la fluidez, calculando el peso a partir del producto del grosor en milésimas de pulgada, medidas de la lámina en centímetros y un factor (27,5) tomado a partir del peso específico del poliestireno de alto impacto. Después de la mezcla, es necesario controlar la carga constante del material a las tolvas de alimentación, ya que a veces, dependiendo de la configuración morfológica de los trozos de la mezcla, es posible que se atore en la boquilla de salida de la tolva, si en caso se trabaja al 100% de velocidad el extrusor, las revisiones deben ser más constantes.

A partir de esto se deben controlar las temperaturas en las diferentes zonas del cañón y del dado extrusor, ya que variaciones en ellas podrán afectar el flujo de poliestireno.

Aquí se observa la presión interna, ya que indica si es necesario un cambio de malla retenedora de objetos indeseados a la salida del cañón, de ser así, el cambio se efectúa con una presión de 1,035 megapascales (150 libras sobre pulgada cuadrada) en la bomba hidráulica encargada. El embrague del material en la línea de extrusión debe ser estabilizado al principio, observando la tensión y transparencia de la lámina, para controlar, desde el dado, las zonas que requieran más o menos material y brindar así el calibre final deseado. Después se enfoca la atención a obtener las medidas finales, con las cuchillas refinadoras y el contador de vueltas en la guillotina.

Figura 12. **Listado de empaque de láminas**

<p>Empaque: se utiliza polietileno para el empaque de láminas establecido:</p> <ul style="list-style-type: none">a. Cal 0.015 = 30 láminasb. Cal 0.020 = 30 láminasc. Cal 0.030 = 25 láminasd. Cal 0.040 = 15 láminase. Cal 0.060 = 10 láminasf. Cal 0.080 = 10 láminasg. Cal 0.100 = 8 láminash. Cal 0.120 = 8 láminas <p>Así cada paquete pesará entre 50 y 60 kg.</p>
--

Fuente: elaboración propia.

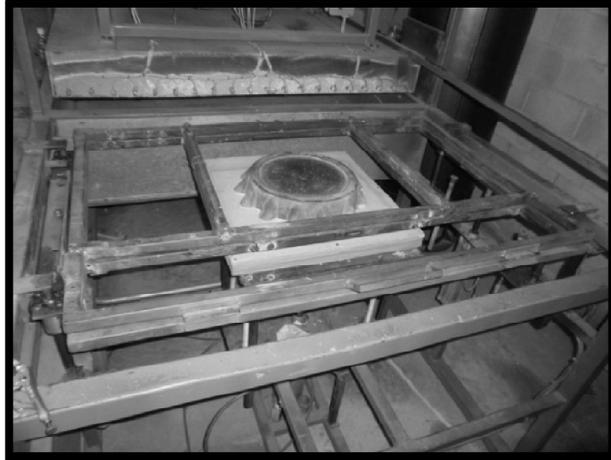
En la figura 10, se hace referencia a los diferentes empaques con los calibres más comunes en el mercado y la forma de empaque protege de cualquier contaminación por polvo o humedad recibida en el exterior, aún así es aconsejado que se almacene en lugares secos y libres de partículas.

2.2.3.2. Termoformado

Las láminas extruidas no siempre tienen un mercado final ordinario, en ocasiones, la laminación es sólo el proceso para abastecer al área de termoformado, en donde son transformadas a partir de calor y moldes previamente manufacturados según la pieza final requerida. El poliestireno cristal tiene propiedades similares al policarbonato por lo que es bastante duro y por consiguiente si se tiene una lámina a termoformar con un coextruido en cristal, se usan temperaturas entre 90 y 110 grados Celsius, mientras que si se trabaja con el poliestireno de alto impacto, por tener polibutadieno en sus componentes, es muy similar al polipropileno, haciéndolo más blando y con un rango de temperatura de trabajo menor.

Cuando se trabaja con piezas laminadas de poliestireno para termoformado deben ser tomados en cuenta variables como el grosor de la lámina, la composición, los agregados: como tinta de impresión, serigrafía o para termoformado y la profundidad del molde a trabajar. A partir de estos puntos es posible establecer el tiempo de calentamiento de la lámina, el de succión al vacío y el de enfriamiento, así como, la presión y el desplazamiento en el eje Y del movimiento lámina-molde.

Figura 13. **Montaje de molde para termoformado**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

Al ubicar la lámina para termoformar en el marco, es importante hacer el diseño del molde para lograr el máximo aprovechamiento de material y así evitar el reprocesamiento de los residuos, los cuales son recuperados luego de tener la pieza terminada, la cual es llevada para su acabado final a cortes u otro tipo de maquinados.

2.2.3.3. Rollo

Para manufacturar este producto se repite el procedimiento desde el principio de la laminación hasta el punto del corte de guillotina, donde esta es sustituida por la embobinadora, encargada de mantener la tensión en el material, a partir de motores conectados a rodillos, para lograr la bobina final.

El calibre del rollo va desde 0,127 hasta 0,635 milímetros (desde 0,005 hasta 0,025 pulgadas) consumido generalmente para impresiones de publicidad en muebles urbanos para la presentación de información (MUPI) y los objetos publicitarios iluminados (OPI), haciendo que sea necesario un tratamiento por corriente eléctrica que abre las moléculas del poliestireno para que este pueda retener y secar dicha tinta.

Según el manual de operación original la máquina se prepara con un tubo de cartón con cinta adhesiva, la cual hará la función de sostener al material cuando se inicie el embobinado, se deben observar también los extremos para que el tubo quede lo más centrado posible, haciendo que los volantes de ajuste estén al centro. La tensión se establece a partir de las marcas hechas en los controles de velocidad, aunque cuando el calibre varía, es importante prestar atención a modificar la tensión de embobinado.

En el cambio de rollo, es importante pegar manualmente con presión moderada el plástico a cada uno de los extremos para que el desarrollo de la bobina sea lo más parejo posible. Se debe posicionar el rollo en proceso a una altura en la que se genere la presión necesaria para que no quede un rollo flojo. Y así se determina que la fabricación de rollos depende más de la técnica desarrollada de los operarios que de la maquinaria en sí. Luego el rollo es envuelto en una película de polystretch la cual lo protege de suciedad, humedad y golpes, es pesado, identificado y llevado hasta su punto de entrega.

2.3. Equipo de extrusión

Cuando se obtienen las herramientas y condiciones elementales para montar un proceso de producción en su forma más básica, se toma como siguiente paso entender, operar y mantener en correcto funcionamiento del equipo disponible.

2.3.1. Equipo principal

Cada uno de los elementos que completan el proceso de producción son considerados como parte elemental y crítica donde de su buen funcionamiento depende la calidad del producto final.

2.3.1.1. Tolvas

Estos recipientes son los encargados de dosificar la cantidad de material que requiere el extrusor y en el coextrusor para mantener un flujo de plastificación continuo. La tolva del extrusor tiene una capacidad de 90 kilogramos y la del coextrusor 60 kilogramos, en material. Estas cantidades varían según la granulación del material, ya que si es un reciclado ocupará más lugar y en ocasiones, provocará estancamiento en la boquilla de salida.

Las tolvas cuentan con mecanismos auxiliares, los cuales son usados cuando se trabaja con materiales diferentes al poliestireno, llamados higroscópicos, los cuales tienden a absorber la humedad del ambiente, es por esto que estos sopladores con calentadores eléctricos de aire, secan el material para evitar gases que puedan dañar al equipo.

Otro equipo adjunto a las tolvas son las aspiradoras de material, a las que se les puede regular el tiempo de succión en segundos y constan de cuatro configuraciones electrónicas diferentes:

C1: carga inmediatamente después que el interruptor de final de carrera descarga el material dentro de la tolva.

C2: mismo comportamiento que C1 e incluye tiempo muerto para hacer una limpieza manual del filtro de la aspiradora.

C3: igual que C1 y con aspiradora en reversa para eliminar el polvo de material del filtro.

C4: espera 30 segundos antes de empezar a cargar si la alarma de Falta de Material (Shortage) se activó.

2.3.1.2. Cañón, husillo y motores principales

Cañón o barril es llamado el cilindro que alberga al husillo, el cual tiene contacto directo con las resistencias eléctricas que calientan las siete zonas del extrusor, compuestas de aislantes cerámicos son de 7,5 kilovatios de potencia incluyendo siete ventiladores para controlar la temperatura, con motores eléctricos trifásicos de 0,37 kilovatios. De igual manera funcionan las zonas del coextrusor con resistencias de 3,5 kilovatios y los ventiladores con motores de 0,25 kilovatios.

El extrusor principal, llamado según la nomenclatura del fabricante, SJ120, es impulsado por un motor de corriente directa, de 160 kilovatios y una caja reductora con una relación de 3 a 1 y su husillo con una relación L/D de 33:1, es decir, que mide 3,96 metros con un diámetro de 12 centímetros. El coextrusor, llamado SJ65, es impulsado por un motor de corriente alterna AC, de 45 kilovatios y su caja reductora de igual relación y su husillo 33:1 midiendo 2,15 metros con un diámetro de 6,5 centímetros.

Tabla II. **Datos técnicos de extrusor SJ120**

Modelo	SJ120/33
Máximo caudal	500 kilogramos/hora
Material	38CrMoAIA (ASTM A304)
Tratamiento superficial	Nitruración y pulido
Velocidad de rotación	20-116 R/min
Tipo de engranes	Helicoidales
Material	20CrMnTi
Motor principal	DC, 160 kilovatios (200 caballos de fuerza)

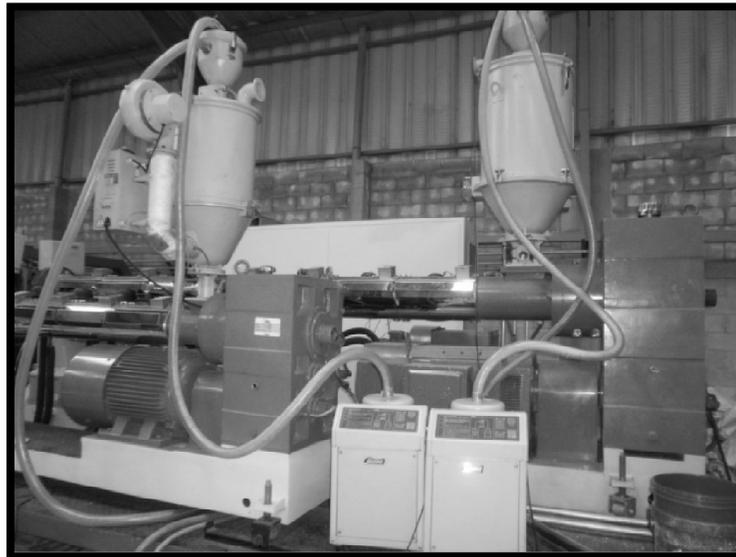
Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Datos técnicos de coextrusor SJ65**

Modelo	SJ65/33
Máximo caudal	150 kilogramos/hora
Material	38CrMoAIA (ASTM A304)
Tratamiento superficial	Nitruración y pulido
Velocidad de rotación	20-116 R/min
Tipo de engranes	Helicoidales
Material	20CrMnTi
Motor principal	AC, 45kilovarios (60caballos de fuerza)

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Extrusores con aspiradoras y tolvas**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

2.3.1.3. Cambia mallas

Estos equipos están ubicados al final de cada husillo y permiten filtrar cualquier objeto que no sea deseado en la lámina extruida. Cuenta con mallas metálicas que son sustituidas frecuentemente durante toda la producción, miden 7,2 y 15 centímetros de diámetro respectivamente para cada extrusor. Este componente de la máquina está conectado a una bomba hidráulica que funciona con una cantidad aproximada de 50 l en su tanque y la presión de trabajo está entre 25 y 30 megapascales y su temperatura puede llegar arriba de los 300 grados Celsius según el fabricante.

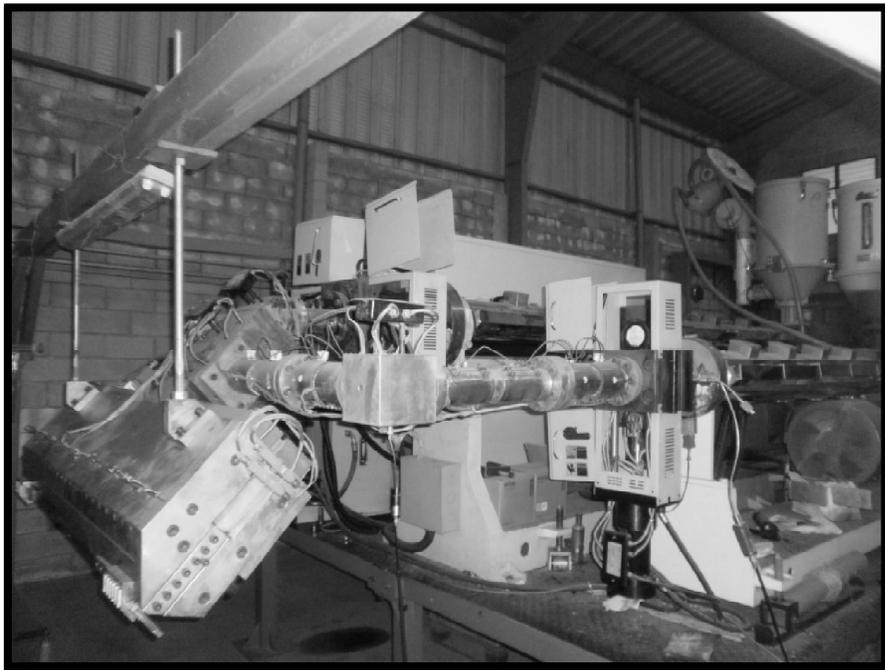
2.3.1.4. Dado

Consta de dos partes, el bloque de alimentación y el cabezal y es de donde se obtiene el tamaño y calibre inicial para después refinar la medida solicitada de la lámina. Cuenta con varias herramientas para lograr esta modificación del calibre y medidas de la lámina:

- Topes: con estos es posible variar el ancho de la lámina desde su salida.
- Abertura del labio: aquí es posible variar el grosor de la lámina controlando la cantidad de material.
- Barra de flujo: para lograr estabilizar el grosor de la lámina en todo su ancho.
- Tornillos finos: para afinar el calibre en puntos específicos más precisamente.

El cabezal, constituido de acero inoxidable, usado casi siempre para estructuras metálicas por sus propiedades de alta soldabilidad, al igual que el bloque de alimentación consta con 11 zonas de calentamiento y 4 zonas respectivamente. Este último cuenta con tres tipos diferentes de adaptadores, los cuales modifican el grosor de la capa de salida del coextrusor, así como, la disposición en las capas, siendo las configuraciones posibles: A-B-A, A-B y B-A, donde la capa A pertenece al coextrusor y la capa B al extrusor.

Figura 15. **Dado y cambia mallas en extrusora**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

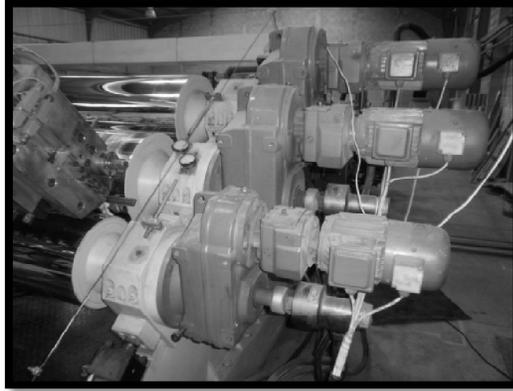
2.3.1.5. Calandria

Los tres rodillos son los encargados de dar el acabado final y la textura de la lámina extruida. Diámetro superior = 40 centímetros, medio = 40 centímetros, inferior = 31,5 centímetros, con una longitud idéntica de 180 centímetros. Tienen un recubrimiento de cromo de aproximadamente 1 milímetro de espesor y son movidos por motores eléctricos trifásicos instalados a dos cajas reductoras para aumentar su torque:

- Superior y medio: motor de 1,5 kilovatios, reductor de 1 450 a 3,6 revoluciones por minuto.
- Inferior: motor de 0,75 kilovatios, reductor de 1 450 a 4,9 revoluciones por minuto.

Por el interior de los cilindros circula agua a una temperatura controlada por los módulos del equipo de intercambio de calor que se detallará posteriormente. Esta temperatura oscila entre los 30 y 95 grados Celsius, en un circuito cerrado. El rodillo medio se mantiene fijo y los otros dos tienen un desplazamiento máximo de 5 centímetros, respectivamente, para cerrar o abrir los cilindros, que pueden ser ajustados a través de unos topes con movimiento controlado manualmente por unos volantes y reductores instalados de fábrica.

Figura 16. **Calandria y motores eléctricos**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

2.3.1.6. Cama de rodillos y cuchillas

Diseñada para el enfriamiento y estiramiento final de la lámina extruida, cuenta con 16 rodillos a una distancia de 12,5 centímetros entre ellos, donde el rodillo No.15 de arriba hacia abajo es movable, con el objeto de mejorar y estabilizar la tensión generada por los rodillos jaladores. Las cuatro cuchillas son mecanismos montados sobre una barra con movimiento a través de un volante y reductor del mismo diseño que el usado para ajustar el cierre de los rodillos en la calandria, estas forman parte de un tornillo que permite el movimiento para ajustarlas a la distancia requerida para tener un corte preciso.

2.3.1.7. Intercambiador de calor

Equipo destinado a lograr el control de la temperatura del agua que circula en los rodillos de la calandria, ya que gracias a estas temperaturas, es posible lograr el planchado, brillo y acabado deseado en la lámina. Son tres módulos idénticos, uno por cada rodillo:

- Bomba de agua de circulación de 2 kilovatios.
- Tres electroválvulas de paso.
- Tres resistencias eléctricas sumergidas en U.
- Tubería de alimentación de torre de enfriamiento de hule de 1 pulgada.
- Tubería de circuito cerrado a rodillo de 1 pulgada con revestimiento de acero.
- Llaves de globo para paso de emergencia de agua.
- Controlador de temperatura electrónico.

En la operación el rodillo superior es el que maneja la mayor temperatura porque determina el planchado de la lámina, el medio maneja la menor temperatura para controlar el brillo, mientras más temperatura más brillo y viceversa, mientras que el inferior maneja una intermedia con el objeto de enfriar el material a la salida del dado. Este equipo trabaja a 440 voltios a 3 480 revoluciones por minuto, lo que logra un caudal máximo de 300 litros/minuto en el motor eléctrico trifásico de la bomba.

2.3.1.8. Tratador

Consta de una barra por la que fluye corriente a alto voltaje a través de un transformador ubicado a uno de sus costados. Funciona con un sistema de pistones neumáticos con carrera de 8,9 centímetros (3 ½ pulgadas) y diámetro de 2 centímetros, que permiten abrir y cerrar el mecanismo mientras se embraga la lámina. Posee también un rodillo de caucho color rojo, con el cual se aísla la corriente que circula para que esta sólo tenga su efecto en la lámina en su uso para impresión. Funciona con una potencia de 4 kilovatios y una frecuencia de 19 kilohertzios a 440 voltios.

2.3.1.9. Rodillos jaladores

Son dos pares de rodillos con ajuste en su velocidad y sincronizados entre sí por la transmisión por cadenas. Su diámetro es de 20 centímetros, con una longitud de 165 centímetros. Cuentan con un motor de 2,2 kilovatios (3 caballos de fuerza) y un reductor de velocidad que transmite la potencia a las cadenas. Usa cuatro pistones neumáticos con carrera de 5,5 centímetros y un diámetro de 2,5 centímetros.

Figura 17. **Rodillos jaladores, tratador y módulos de intercambiador de calor en extrusión**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

2.3.1.10. Guillotina

Es un equipo hidráulico con una cuchilla de acero inoxidable con capacidad de cortar desde 0,25 milímetros hasta 5 milímetros de grosor con un ancho de 150 milímetros. Funciona a través de una bomba hidráulica de 2,2 kilovatios, una electroválvula que controla el paso del fluido para el movimiento de la cuchilla, una manivela de ajuste de corte y una válvula que controla la velocidad de retorno y avance del corte. Dos rodillos, con los cuales se crea la tensión necesaria durante el corte, vienen instalados, funcionando neumáticamente, tienen un diámetro de 2 centímetros y una carrera aproximada de 4 centímetros, con un ajuste manual, ya que muchas veces es necesario acomodarlos por el grosor de la lámina extruida.

Para mantener la tensión entre los rodillos jaladores principales y los de la guillotina, tiene un columpio que está formado por dos soportes y una barra que se carga sobre la lámina en proceso para mantener un flujo constante. Este mecanismo funciona junto con un circuito electrónico, acondicionándolo con un microinterruptor de final de carrera, donde se activa el movimiento de los rodillos en un extremo y en el otro se detiene para que la tensión en la lámina se mantenga estable. Aquí es posible regular la distancia de corte dependiendo del producto deseado.

2.3.1.11. Embobinadora

Es el equipo usado para la creación de rollo de poliestireno de alto impacto; este cuenta con cuatro rodillos, dos en los que se crea la bobina y dos que hacen función de guía y de tensión para el material enrollándose.

La embobinadora tiene dos motores principales de 7,5 kilovatios (10 caballos de fuerza) con un consumo máximo individual de 15 amperios más los motores de ventilación aproximadamente de 0,22 kilovatios (1/6 caballo de fuerza). Estos motores transmiten la fuerza de tracción de embobinado a través de engranajes rectos y su velocidad es controlada a partir de variadores de frecuencia. El movimiento de los cuatro rodillos sobre un eje es producido por un motor con potencia de 0,75 kilovatios por una transmisión de tornillo sinfín y corona que se encuentra en un gabinete.

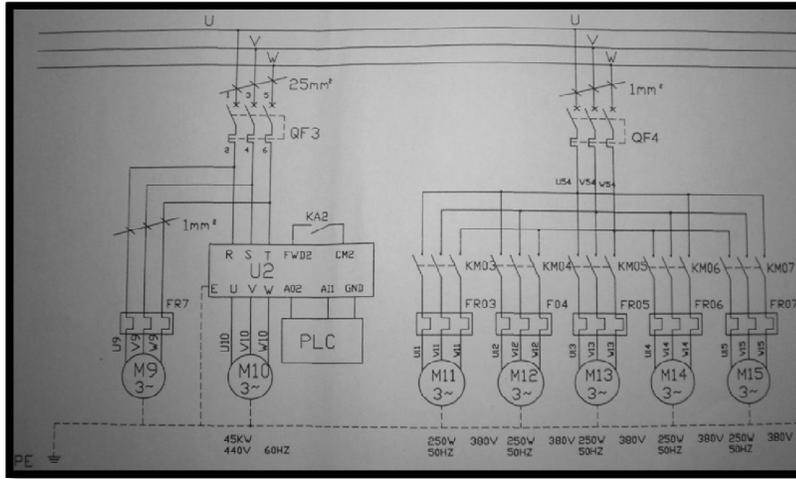
2.3.1.12. Control lógico programable y sus conexiones

Dividido en dos gabinetes principales, el control lógico programable (PLC) es el encargado de intervenir en el paso de la corriente a los lugares indicados para mantener temperaturas en las diferentes zonas de trabajo de la máquina, controlar las velocidades de los motores y otras funciones importantes durante la producción de la laminación del poliestireno. Se llama gabinete 1 al más grande ubicado cerca del extrusor y gabinete 2 al pequeño ubicado al lado de la pantalla de control.

Gabinete 1: se encuentran los controles y conexiones de la corriente de alimentación, motores principales y las resistencias de las diferentes zonas. Es un modelo Siemens Simatic S7-200.

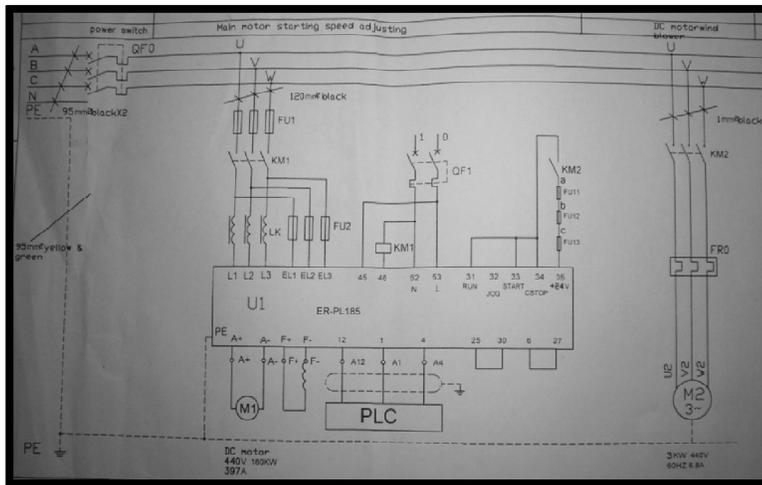
Gabinete 2: aquí están ubicados los controles de los motores de la calandria, bombas hidráulicas, motor de rodillos y arrastre de todo el módulo de extrusión, el cual tiene esta configuración para acceder fácilmente entre el dado y la calandria.

Figura 18. Diagrama de conexión principal PLC



Fuente: plano original, proporcionado por la planta de extrusión en San Miguel Petapa, Guatemala.

Figura 19. Diagrama de conexión a motores de extrusión PLC



Fuente: plano original, proporcionado por la planta de extrusión en San Miguel Petapa, Guatemala.

Los diagramas forman parte de la documentación existente de la maquinaria, así como, el manual de instalación del modelo anteriormente mencionado del control lógico programable; a partir de esto es posible detectar problemas o incluir mejoras en los diseños de fábrica.

Existen módulos de ampliación, así como, paquetes para programación de datos y procesos de operación. En digital se pueden editar los datos de configuraciones iniciales para que se puedan incrementar algunas características como los tiempos de calentamiento, la salida de los impulsos de corriente hacia los motores y algunas otras operaciones lógicas con las que se puede intervenir en el diagnóstico de la lectura del PLC.

2.3.2. Equipo auxiliar

Clasificado así por ser de un nivel crítico inferior al establecido inicialmente, ya que, las funciones desempeñadas pueden ser reemplazadas con mayor facilidad y disponibilidad que el equipo principal.

2.3.2.1. Transformador eléctrico

La maquinaria de extrusión necesita de una fuerza de 440 voltios para funcionar, es a partir de aquí que se establecen los parámetros para seleccionar el correcto transformador, en este caso, tipo subestación. La línea de transmisión comercial transporta 13 800 voltios, los cuales son conducidos hasta el gabinete en el interior de la planta donde pasan a través de fusibles y luego directamente al devanado interior. El transformador pesa aproximadamente 6 000 kilogramos, incluyendo el peso del aceite dieléctrico como aislante y refrigerante de 1 500 litros.

Su temperatura se mantiene aproximadamente a 60 grados, con una conexión estrella-estrella, tiene capacidad para 1 000 kilovoltios amperios, de 3 fases a 60 hercios, con una impedancia de 5,2% a 65 grados Celsius y operando a una altitud de 2 240 metros sobre el nivel del mar.

2.3.2.2. Mezcladora

Equipo con un motor de 4 kilovatios que transmite la potencia a través de tres fajas hacia el tornillo de mezcla que se encuentra en el centro de la carcasa de la mezcladora. Este crea un efecto de circulación de material al subirlo y dejarlo caer por gravedad a su alrededor. Tiene tres compuertas principales: salida del material, mezcla del material y limpieza. Con el ajuste del temporizador es posible establecer los minutos de la mezcla deseados.

2.3.2.3. Compresor

Esta unidad en modelo vertical provee de aire comprimido a herramientas y máquina. Los cojinetes de los pistones de compresión en el cabezal están lubricados con aceite neumático que se mezcla con parte del aire comprimido usado en los diferentes equipos. Posee un tanque de almacenamiento de 302,8 litros (80 galones) y es capaz de brindar 0,71 metros cúbicos/minuto (25,1 pies cúbicos por minuto) a 1 207 megapascales (175 libras sobre pulgada cuadrada) y cuenta con un motor de 5,63 kilovatios (7,5 caballos de fuerza) conectado a 440 voltios que gira a 1 750 revoluciones por minuto y consume 10 amperios.

2.3.2.4. Torre de enfriamiento

Conectada a los módulos de intercambiador de calor de la calandria, en un equipo de tiro inducido con una bomba de 7,5 kilovatios (10 caballos de fuerza) a 440 voltios, con un tanque de almacenamiento de 2 500 litros. El agua circula desde el tanque hasta el intercambiador y boquillas de la salida de material de las tolvas, esto para evitar una plastificación de material temprana y regresa hacia la torre donde el calor es extraído. La instalación cuenta con aproximadamente 105 metros de tubería galvanizada de 1 pulgada.

2.3.2.5. Bombas hidráulicas

Son consideradas como equipo auxiliar, aunque están ubicadas directamente en el área de extrusión. Una abastece de presión al cambia mallas y la otra es la que controla el movimiento de los rodillos de la calandria.

Datos:

- Bomba 1: presión 20 megapascales a 380 voltios con una potencia de 3,75 kilovatios (5 caballos de fuerza) y una velocidad máxima de 1 735 revoluciones por minuto.
- Bomba 2: genera la presión en la calandria con 3 kilovatios de potencia funcionando a 440 voltios. Tiene dos manómetros de presión de ida y de retorno y otro que controla la válvula de encendido de la bomba.

2.3.2.6. Extractor de gases

Conectado a la salida del tratador, tiene como función extraer los gases generados por el proceso en que las moléculas de la lámina de poliestireno se expanden, estos gases son dañinos para la Capa de Ozono y producen un olor desagradable y pueden afectar a la salud del operador al estar mucho tiempo expuesto a él. Cuenta con un motor que impulsa un ventilador de aspiración con una potencia de 2,25 kilovatios (3 caballos de fuerza).

2.3.2.7. Molino

Equipo usado para triturar el poliestireno laminado que fue rechazado por el control de calidad final y es procesado para ser reciclado. Funciona con dos motores, el principal que mueve las cuchillas de corte por medio de fajas y el secundario que funciona como aspiradora para transportar el material triturado a la tolva de descarga.

Figura 20. **Tabla de especificaciones técnicas de molino**

2024TF		
	Standard	Standard Options
Infeed	Tray/Conveyor feed, sound treated	
Cutting Chamber	Tangential 2-bed knives	
Rotor	Open 3-knife slant cut	
Rotor Knives	3 IICIC, 55° (2 pcs)	
Bed Knives	2 HCHC, 2 edge reversible (2 pcs)	
Screen	5/16", drop-down, pull-out (2 pcs)	3/8" and larger
Base	Sound enclosed, fork lift	
Discharge	6" Airveyor chute	
Motor	30 HP, TEFC, 1800 rpm, 3/60/230/480	40 HP, 50 HP
Drive Parts	V-belt, single flywheel	Dual flywheel
Electrical	NEMA 12 with safety interlocks	Diagnostic panel
Components		
Controls	230 or 460 volt	
Labels	Safety/caution/operation	French/Spanish
Accessories		Blower, Separator, Stand

Fuente: Datos en molino, elaboración propia.

El motor de aspiración secundario de 2,2 kilovatios funciona paralelamente con el motor principal haciendo que el flujo de material sea constante, teniendo un aproximado de 800 kilogramos por hora de material triturado oscilando un consumo desde 8 hasta 40 amperios, dependiendo del tamaño de la pieza triturada. Las cuchillas de corte deben ser observadas regularmente, así si alguna estuviese dañada, deberá ser sustituida para evitar posteriores complicaciones mayores.

3. REACONDICIONAMIENTO EN EQUIPO

El reacondicionamiento tiene como objeto modificar la situación actual en el funcionamiento de la maquinaria de extrusión para mejorar su desempeño y operación ayudando a tener una mayor productividad y calidad en la lámina o rollo entregado; así mismo, se define al reacondicionamiento como un sinónimo de un mantenimiento preventivo, con el cual los costos de producción serán reducidos con las acciones implementadas en el equipo.

3.1. Equipo principal

Al estudiar el funcionamiento del equipo crítico del desarrollo de la producción, se establecen algunas tareas que deben ir enfocadas a mejorar el desempeño de dicho equipo.

3.1.1. Motores principales

El intercambio y limpieza programada del filtro del ventilador del motor de corriente directa debe ser de vital importancia al tener un ambiente contaminado por partículas de polvo que pueden dañar el ventilador de enfriamiento. A partir de esta medida programada debe procederse a la modificación de la ventilación de la planta, cerrando con espuma de polietileno, usada por sus propiedades de absorción de vibraciones y sonido, así como, sus aditivos retardantes de llama entre otros; así se evitará la introducción de polvo para evitar posteriores daños.

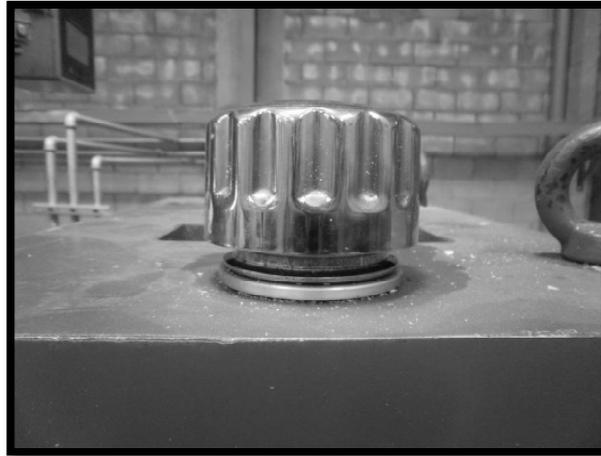
Figura 21. **Filtro de sistema de ventilación**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

Los reductores de transmisión hacia el husillo extrusor, poseen una fuga de aceite al trabajarlos a altas velocidades en la tapa de abertura y en las roscas de extracción, por lo tanto, se debe proceder a sustituirlos incluyendo las mirillas ya que por errores del fabricante estas perdieron la visibilidad a la cantidad y coloración del aceite para engranajes.

Figura 22. **Tapa de aceite del reductor principal**

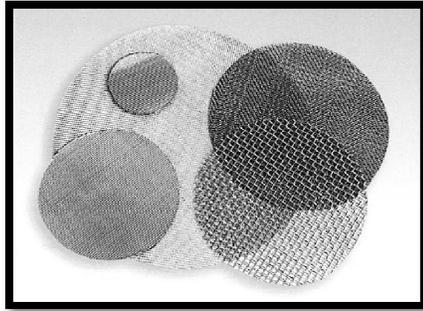


Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

3.1.2. Cambia mallas

Este equipo presenta problemas cuando las mallas metálicas son colocadas de una manera incorrecta o si estas presentan cualquier tipo de defecto de fábrica, lo cual provocará un flujo con algún cuerpo extraño al poliestireno o un flujo discontinuo que provocará alguna sobrepresión en el husillo. Una corrección sencilla a este problema es cambiar de proveedor de mallas e incluso de diseño, evitando cualquier doblez que pueda causar la posición incorrecta en el cambia mallas.

Figura 23. **Variedad de mallas metálicas para extrusión**



Fuente: www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Discos-de-tela-metalica-15052.html. Consulta: agosto de 2012.

3.1.3. Dado

Como se define al inicio del capítulo, el acondicionamiento que debe hacerse al dado de la extrusora está íntimamente involucrado con el programa de mantenimiento preventivo, ya que en este, está incluida la lubricación periódica que debe efectuarse.

Cada uno de los tornillos de ajuste y calibración en el dado deben girar con facilidad, también el de ajuste de la abertura del labio, los cuales en el montaje y los días de arranque inicial de la maquinaria, así como, del estudio de reacondicionamiento mostraron problemas de corrosión por estar expuesta a la intemperie durante su embarque hacia la planta.

Varios tornillos de calibración tuvieron que ser sustituidos al presentar rotura por torsión en su maniobra inicial y luego de varios días de producción fue necesario un mantenimiento correctivo de lubricación y cepillado para un mejor desempeño en la extrusión.

Un incremento en la viscosidad del material, ya sea por la mezcla o las condiciones de operación en la extrusión afecta la presión dentro de todo el canal del flujo haciendo que sea variable la fuerza que se debe aplicar para lograr el calibre deseado e incluso un aumento en la temperatura del dado puede ayudar a que el material fluya de una mejor manera, aunque hará que en las zonas donde la temperatura sea menor el material se estanque creando una mayor presión sobre la barra de flujo y por tanto sea más difícil de maniobrar. Por estas razones se deben tener en excelentes condiciones mecánicas los tornillos anteriormente mencionados y de esta manera establecer períodos en los que la lubricación y limpieza interior sean realizadas.

3.1.4. Calandria

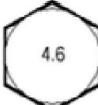
Con base a efectos de operación, se detectaron fallas en tres puntos importantes y trascendentales en la producción final que deben acondicionarse para trabajar con mejor calidad:

- Existe un desplazamiento indeseado en rodillo central, causado por la falla en el diseño de fijación por tornillos ejerciendo presión a la estructura base. La solución será desmontar los cilindros de la calandria para perforar cuatro agujeros de 2,54 centímetros (1 pulgada) de diámetro la posición exacta de los pernos existentes y sujetarlos por medio de roscas en la parte interior para evitar posterior movimiento.
- Las manivelas de distancia de cierre entre rodillos tienen problemas de sujeción a la estructura base.

La solución se enfoca en seguir el mismo procedimiento que en el rodillo central, perforar los soportes en la estructura base para fijar con pernos y tuercas de 2,54 centímetros de diámetro por 10 centímetros de largo (1 por 4 pulgadas). Toda la tornillería de sujeción, presión y calibración de la maquinaria de extrusión son del tipo milimétrico, aunque en este tipo de modificaciones es aceptado usar las Normas ASTM y SAE para seleccionar los pernos.

- Las guías de paso en la estructura base de los rodillos superior e inferior, así como, los topes con los que se controla la distancia de cierre, están cubiertos de grasa con pintura que dificulta tal movimiento, es para evitar un atoramiento que se le debe remover y lubricar debidamente.

Tabla IV. **Datos de pernos milimétricos en el mercado**

Propiedades mecánicas de elementos roscados de clase métrica					
Clase	Rango del diámetro	Carga de prueba [MPa]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Material	Marcado de la cabeza
4.6	M5 - M36	225	400	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
4.8	M1.6 - M16	310	420	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
5.8	M5 - M24	380	520	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
8.8	M16 - M36	600	830	Acero al carbono, Templado y Revenido	
9.8	M1.6 - M16	650	900	Acero al carbono, Templado y Revenido	
10.9	M5 - M36	830	1040	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
12.9	M1.6 - M36	970	1220	Acero aleado, Templado y Revenido	

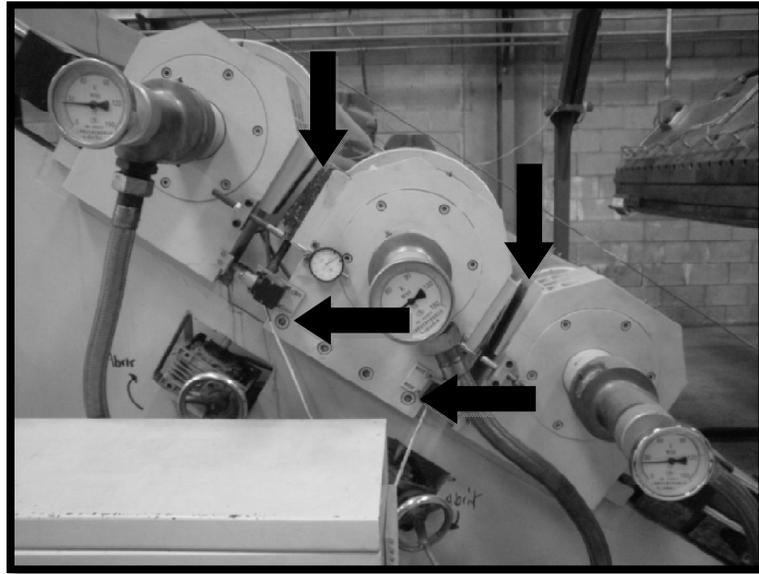
Fuente: <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/uniones/union1.html>. Consulta: agosto de 2012.

Tabla V. Datos de pernos grado SAE en el mercado

Mercado de pernos de acero grado SAE					
Número de grado SAE	Rango del diámetro [inch]	Carga de prueba [kpsi]	Esfuerzo de ruptura [kpsi]	Material	Marcado de la cabeza
1 2	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ - $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
5	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	Acero al carbono, Templado y Revenido	
5.2	$\frac{1}{4}$ - 1	85	120	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	Acero al carbono aleado, Templado y Revenido	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	Acero al carbono aleado, Templado y Revenido	
8.2	$\frac{1}{4}$ - 1	120	150	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	

Fuente: <http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/uniones/union1.html>. Consulta: agosto de 2012.

Figura 24. **Rodillo central con tornillos de sujeción y topes con guías con grasa contaminada**



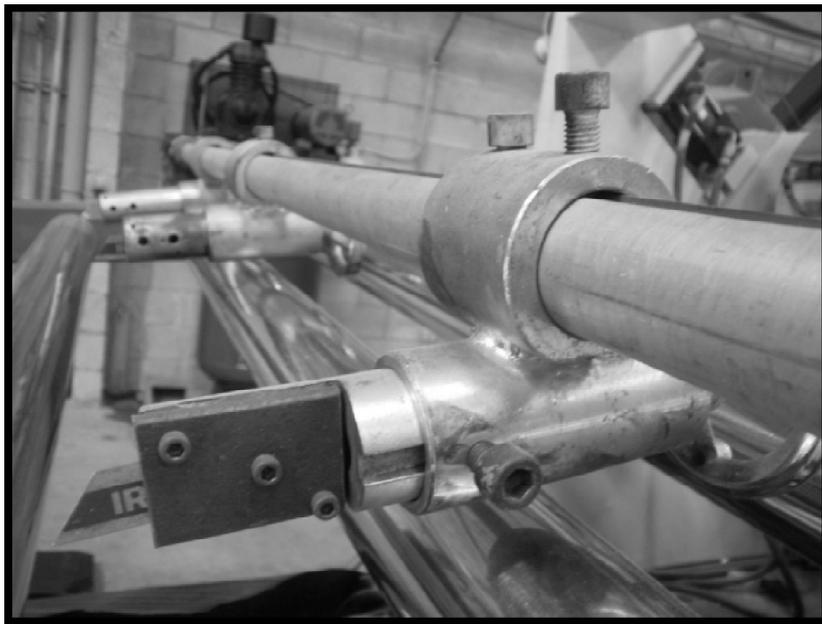
Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

3.1.5. **Cama de rodillos y cuchillas**

Para evitar ondulaciones y curvaturas en la lámina final, es necesario tener un planchado óptimo, en el cual la combinación de temperaturas en la calandria y el tiempo de enfriamiento juegan un papel muy importante. Es por esto que, al ocurrir el enfriamiento en la cama de rodillos, se tiene una falla en las láminas de calibres delgados (0,25 – 1 milímetros o 0,010 – 0,040 milésimas de pulgada) observando que su principal falla es que los rodillos están muy unidos, haciendo que la lámina adopte esta curvatura. Es necesario eliminar cinco cilindros, si están numerados de arriba hacia abajo del 1 al 16, eliminar el No.2, No.6, No.10, No.12 y el No.16. Con esta acción se pretende eliminar la tensión excesiva de la lámina extruida y mejorar su planchado.

Las cuchillas presentan un problema de fábrica que debe ser modificado para lograr un mejor desempeño en el corte de refinado de orillas de la lámina. Estas tienen un ajuste sobre una barra transversal que permite sujetarlas por medio de tornillos a presión y esta barra está montada sobre una base instalada sobre la cama de rodillos y, aquí es donde se origina el problema, ya que esta barra se encuentra a una altura de 15 centímetros sobre el rodillo lo que hace que el ángulo de corte de las cuchillas sea muy pronunciado, creando un efecto de oscilación en la cuchilla y el corte sea ondulado. Es por esto necesario reducir la altura de la barra 5 centímetros, para que el ángulo se reduzca unos 20 grados aproximadamente, teniendo un corte más uniforme.

Figura 25. **Cama de rodillos y cuchillas**



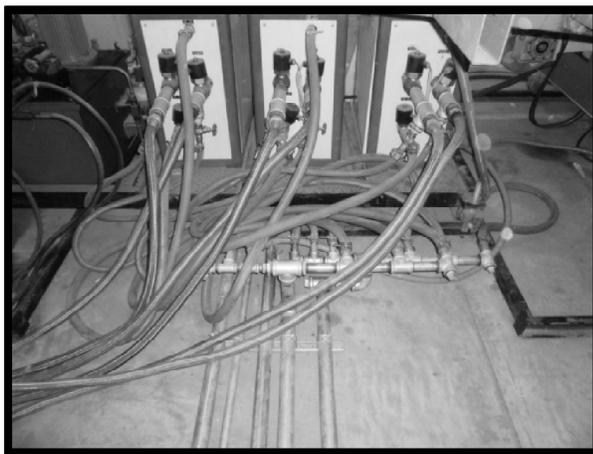
Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

3.1.6. Intercambiador de calor

Este equipo está conectado a la calandria por mangueras con recubrimiento de acero de 1 pulgada de diámetro y alimentada por la torre de enfriamiento por mangueras de hule de la misma medida. En la instalación original existen problemas, ya que el movimiento de todo el módulo para procedimientos de operación en el dado, implica que pueda haber algún daño a una manguera que provoque una sustitución indeseada de la misma para evitar fugas. En este caso se debe proceder a calcular la distancia necesaria entre la calandria y los módulos del intercambiador, incluyendo el desplazamiento necesario en el movimiento lineal existente.

Las mangueras de hule actuales tienen un promedio de 1 metro de exceso en los tres módulos, mientras que las cubiertas por acero necesitan de alguna estructura o guía que evite que estén generando alguna situación de riesgo hacia el operador y sus ayudantes.

Figura 26. **Mangueras en intercambiador de calor**

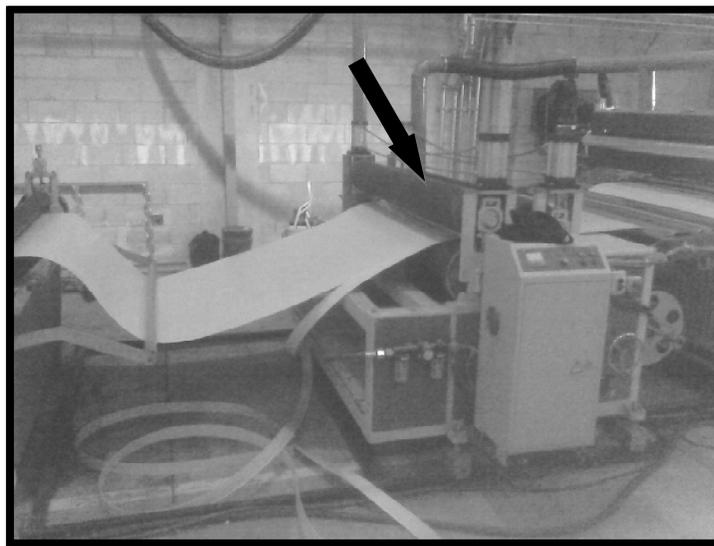


Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

3.1.7. Rodillos jaladores

Es un equipo que consta de dos rodillos de goma como anteriormente fueron descritos. Por lo general la razón de usar dos rodillos es incrementar la fuerza de tracción generada en los diferentes grosores extruidos, aunque durante la producción de calibres delgados (0,25 – 1 milímetros ó 0,010 – 0,040 milésimas de pulgada) se genera un problema en el espacio entre los dos rodillos jaladores, ya que la lámina empieza a reducir su velocidad en el último rodillo, haciendo que se amontone y haya problemas de continuidad hacia la guillotina. Por lo tanto, una solución será anular uno de los rodillos, haciendo que la función de tracción de la lámina sea generada por solo uno de ellos.

Figura 27. **Columpio de guillotina y rodillos jaladores en extrusión, con uno de ellos anulado**



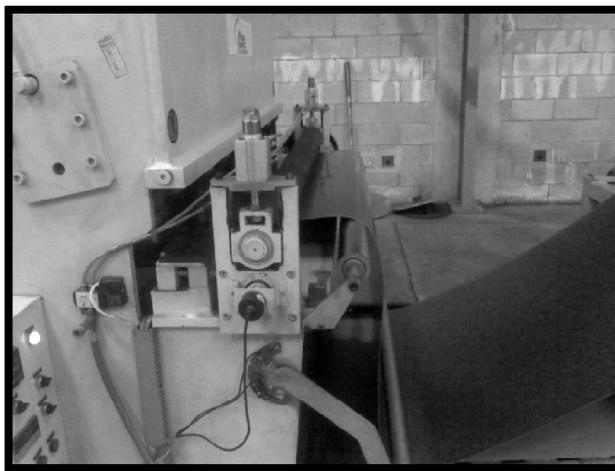
Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

3.1.8. Guillotina

La alimentación a la guillotina proviene directamente de los rodillos jaladores, en donde el material, a través, de un columpio conserva la tensión mientras procede el corte. Este sistema tiene cierta falla, ya que el cilindro del columpio tiene cierta curvatura que hace que el material, especialmente si es de calibre delgado, tienda a desalinearse ya que la presión en los cilindros neumáticos, se puede modificar manualmente por unos tornillos que regulan la distancia de su carrera.

A partir de conocer estos errores son varias las acciones a tomar para trabajar con más estabilidad. Ajustar, al inicio de la producción, los tornillos de sujeción del cilindro del columpio de tensión, llave tipo Allen de 8 milímetros, dejar a una distancia equivalente los rodillos de presión y acomodar el grosor del corte de la guillotina dependiendo del calibre de la lámina.

Figura 28. **Sistema de sujeción en guillotina**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

3.1.9. Embobinadora

Usada sólo en la producción de rollo, su acondicionamiento para producción es básicamente la alineación con respecto a los rodillos jaladores cada vez que es colocada en su lugar; y en el ajuste de la tensión del embobinado dependiendo del calibre del rollo a elaborar, ya que el torque generado por los motores sobre la lámina puede excederse y tensionar demasiado la lámina, creando arrugas en el rollo y por lo tanto tendrá que ser eliminado para reciclaje.

Figura 29. **Sistema de embobinado en operación**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

3.2. Equipo auxiliar

A partir de tres semanas de funcionamiento, fue posible realizar un estudio de condiciones de trabajo que definió los arreglos primordiales que se necesitaban para poner en un mejor estado el equipo en la extrusión.

3.2.1. Compresor

Siendo el único equipo encargado de generar el aire para el equipo de extrusión y los equipos auxiliares usados en la planta como las máquinas de termoformado y equipos de limpieza, se debe prestar gran atención al estado inicial del compresor vertical y su desempeño, ya que a partir de los últimos meses de trabajo, se pudieron establecer los puntos de reacondicionamiento principales:

- Ubicación: se encuentra a un costado de la máquina extrusora, muy cercano al dado de extrusión, lo que hace que el aire de aspiración por lo general, cuente con una cantidad de calor excedente que puede afectar a la eficiencia energética del compresor. Otra situación es la cantidad de polvo que existe dentro de la bodega de la planta, la cual, aunque la boquilla de aspiración contenga un filtro, el compresor se verá afectado por el mismo. Por lo tanto, es muy aconsejable trasladarlo de lugar, ya que la tubería de distribución se encuentra en toda la planta.
- Al ser una máquina reciprocante, el compresor debe ir sujeto al suelo con pernos de anclaje y gomas de neopreno, un tipo de caucho sintético, con los que se evitará que el movimiento de todo el compresor con su tanque de almacenamiento provoque algún daño.

- La extracción del condensado debe ser conducido hacia la tubería de drenaje para eliminar el agua correctamente y que no quede estancada.

Figura 30. **Compresor vertical en condición actual**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

3.2.2. Torre de enfriamiento y bomba de agua

La instalación de la torre de enfriamiento, la cual está conectada a los módulos de intercambio de calor para el control de la temperatura de los rodillos de la calandria, está ubicada en la parte trasera de la planta, en donde es posible eliminar el calor intercambiado al ambiente y, a un costado del depósito de agua, se encuentra la bomba de agua, la cual se encarga de impulsar el agua en el circuito.

Aquí se deben hacer ajustes en la base de la bomba, ya que prácticamente la bomba está sostenida por la misma tubería y no por su estructura. Además, se debe instalar una red que evite la contaminación del agua por insectos y otras partículas; con esto se reduce el tiempo de reproducción de los organismos que puedan causar daños en tuberías y equipo.

3.2.3. Bombas hidráulicas

Es necesario reparar las mangueras donde circula el fluido hacia el cambia mallas y también las mangueras instaladas en la calandria, encargadas del movimiento del rodillo superior e inferior. La fuga de aceite hidráulico, a pesar de no ser grande en cantidad, afectará eventualmente el nivel creando costos más altos por recuperar el aceite y también su dispersión en el lugar puede crear alguna situación de riesgo.

Figura 31. **Bomba de agua en torre de enfriamiento**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

4. REDISEÑO EN EQUIPO

El término con el que es titulado este capítulo, hace referencia a la esencia de usar los datos, conocimientos y experiencias adquiridas durante las producciones de lámina de poliestireno de alto impacto distribuidas en los últimos meses y, recrear o remodelar la maquinaria instalada para su mejor desempeño y operación, usando como herramienta procedimientos de ingeniería en mejora de productividad.

4.1. Equipo principal

Teniendo como objetivo principal, obtener la mejor calidad en el producto final, el rediseño propuesto, en el equipo crítico, se caracteriza por ser apto de estudio para tomar acciones inmediatas en beneficio de la rentabilidad del proceso de producción con poliestireno.

4.1.1. Motores principales y su alimentación

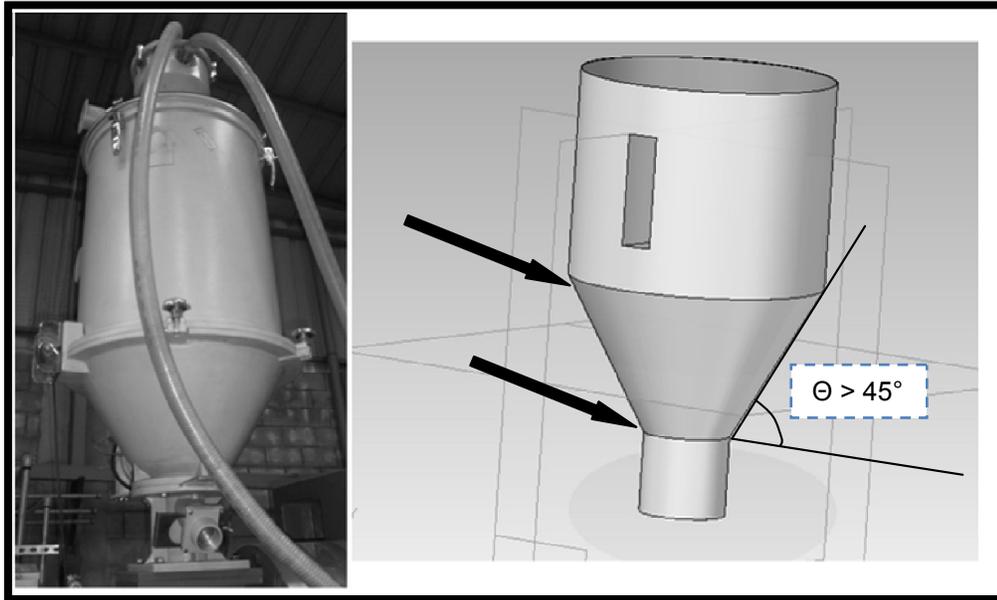
En los datos técnicos generales entregados por el fabricante, viene especificado que la cantidad máxima de producción son 650 kilogramos/hora, aunque no hay datos de cambio en variaciones, por ejemplo, en calibres más pequeños o más grandes y, es aquí donde se ha observado la verdadera capacidad de la maquinaria; esta cuenta con un motor DC en su extrusor principal debido a que con esto es posible obtener un torque más grande, haciendo que se obtenga un flujo más continuo.

Mientras que en el coextrusor se tiene uno de corriente alterna, el cual tiene un valor menor en costo y es más funcional debido a sus menores pérdidas por fricción, desgaste, calor, entre otras, por lo tanto un rediseño en la maquinaria para obtener mayor capacidad de producción no se enfoca en los motores, sino en el equipo que procesa la cantidad de material obtenida.

Si se trabajan los motores al 100%, produciendo un calibre mediano, entre 1 y 2 milímetros, se obtienen los 650 kilogramos/hora de poliestireno teóricos, pero se presentan problemas en las tolvas de alimentación, ya que aunque la del coextrusor funciona a una velocidad razonable con respecto a la de la aspiradora, presenta, dependiendo de la granulación, problemas por atoramiento, mientras que en el extrusor principal, se presentan problemas por la velocidad de alimentación, donde la aspiradora no se da abasto y es necesario una carga manual cada cierto tiempo.

Su simple solución sería sustituirla por una de mayor capacidad; en cuanto a las tolvas, se propone un cambio en el ángulo de bajada de la tolva de aproximadamente 10 grados y un alargamiento de 15 centímetros en la disminución y eliminando la protuberancia al principio y al final de la misma evitará el atoramiento generado actualmente.

Figura 32. **Rediseño de tolva de alimentación**

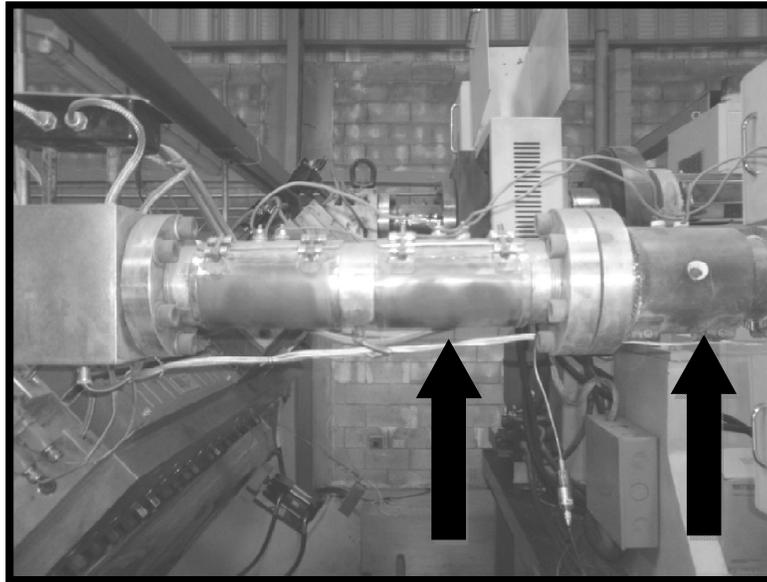


Fuente: elaboración propia, con información de planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

4.1.2. Cañón

El proceso de calentamiento de la maquinaria, donde se incluyen todas las partes del cañón y del dado, está controlado por el control lógico programable, conectadas a resistencias eléctricas que suman un aproximado de 125 kilovatios de potencia, en las cuales se presentan diferentes diseños y tamaños, habiendo comprobado en los meses de producción los fallos que presentaban tales resistencias cerámicas herméticas y por tanto, teniendo como solución en el diseño un tipo de resistencia tipo abrazadera de los mismos valores de consumo, mejorando notablemente el tiempo de calentamiento e incluso en la lectura del termopar.

Figura 33. **Rediseño y sustitución de resistencias herméticas a abrazadera**



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

4.1.3. Calandria y control lógico programable

Como anteriormente fue descrita, la calandria cuenta con su rodillo inferior de menor diámetro a los otros dos, parte de este diseño implica que la velocidad tendrá que ser diferente a la otra para lograr el efecto de tracción deseado. Mientras la velocidad aumenta o disminuye a la establecida empíricamente, el flujo de material se atrasará o adelantará, quedando marcado en la lámina extruida. Por lo tanto, un rediseño en los controles electrónicos de la calandria involucra una mejora pues a partir de los parámetros del diseñador original se evitarían problemas de operación ya que la tracción de los motores de los cilindros es independiente.

Es necesaria una reconfiguración en los mecanismos de seguridad, ya que se cuenta con una correa que bloquea los motores, pero falla al no estar conectado con el sistema hidráulico que enciende el mecanismo de abrir los rodillos. Otro punto de reprogramación en el control lógico programable son los transductores de presión, ya que existe una sección en la pantalla de control donde indica valor 0,00 y permite establecer un valor máximo en el que dará un aviso de sobrepresión. El modelo del PLC es Siemens S7 200, siendo el programa para configuración distribuido por la misma empresa el Simatic Step 7 Versión 5.5, operado por cualquier Sistema Operativo.

La reprogramación consta de tener el diseño original, con conexiones y condiciones por el fabricante y dependiendo de las nuevas necesidades se modifican las condiciones bajo las que se logrará la operación deseada. En ocasiones se recomienda siempre que lo haga un técnico calificado para evitar posteriores complicaciones en otras funciones establecidas de la maquinaria.

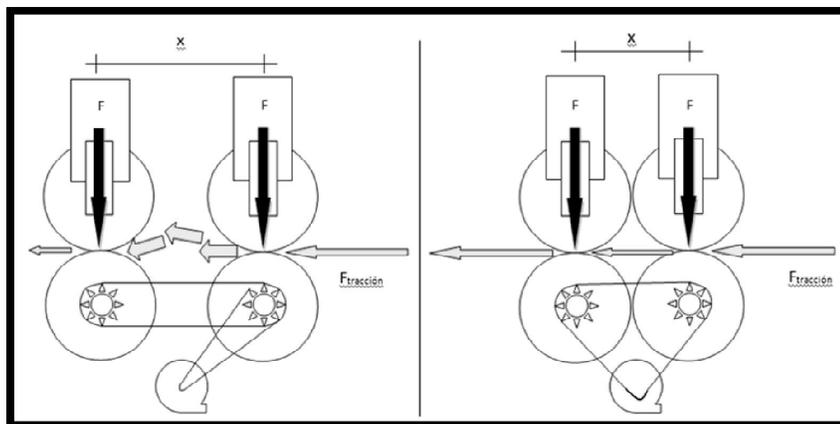
4.1.4. Rodillos jaladores

Su diseño original pensado para generar mayor tracción provee ciertos problemas en la operación con calibres delgados, la solución más rápida fue el bloqueo de uno de ellos aunque si se dependiera de la fuerza de tracción de los dos en funcionamiento se podría tomar una propuesta de diseño para modificarlos de la siguiente manera:

- Ubicación: se tendrá que reducir la distancia X entre los rodillos, para que la fuerza de fricción actúe casi sobre el mismo punto de la lámina, sin permitir un cambio de fuerzas en la distancia X.

- Transmisión: generada por dos cadenas, una conectada directamente al motor y otra que conecta a los dos rodillos impulsores que hacen que el motor esté con una carga innecesaria la cual aumenta su consumo energético, por esto se recomienda que la transmisión sea instalada a los dos rodillos desde la fuente. Con esta modificación se deberán tomar en cuenta los cambios en la transmisión, ya que se requerirá de una cadena de mayor longitud y por la potencia que deberá transmitir se usará una cadena de doble hilera. Con su motor de 3 caballos de fuerza, a una velocidad de 1 000 revoluciones por minuto y queriendo obtener 200 revoluciones máximas.
- Relación de $1\ 000/200 = 5$, potencia $3 \times 1,5$ (factor de servicio) = 4,5, cadena de doble hilera de $5/8'' \times 3/8''$ (15,87 x 9,70 mm) con piñón de 25 dientes, $25 \times 5 = 125$ dientes en rueda.

Figura 34. **Original y rediseño en rodillos jaladores**



Fuente: elaboración propia.

4.1.5. Guillotina

Teniendo partes conflictivas durante la producción, se rediseñan dos piezas importantes; el cilindro del columpio y los cilindros neumáticos que ejercen presión sobre el rodillo de goma de tensión; donde el primero deberá ser completamente sustituido por un cilindro totalmente recto, ya que la curvatura y desalineación existente hace que el peso del mismo se cargue sobre la lámina irregularmente mientras gira, así mismo, los pernos con los que se ajusta a los brazos del columpio deben ser capaces de evitar cualquier movimiento oscilatorio que provoque el mismo efecto.

Los cilindros neumáticos con los que se controla la tensión mientras la cuchilla de corte baja, originalmente traen un sistema de ajuste de altura manual que crea incerteza en el paralelismo que existe con el rodillo de goma de tracción, es por esto que este mecanismo debe ser sustituido. Los cilindros neumáticos deben ser completamente herméticos, de carrera fija, similares a los de los rodillos jaladores.

4.1.6. Embobinadora y recepción de láminas

Cuando se trabaja el producto de láminas es necesario colocar una mesa de recepción, con la cual se facilita el transporte de las mismas hacia su empaque, aunque el diseño de esta es muy sencillo, es parte importante para la operación y entrega del producto. Esta cuenta con soportes hacia la parte interna de la guillotina, haciendo que el corte y el transporte sean prácticamente simultáneos, con estos soportes se logra que la mesa tenga un ángulo de 20 grados con respecto a la horizontal, haciendo que las láminas se acomoden por gravedad y al final una barra con rodillos para el empaque en las tarimas de entrega.

En producción de rollo, una de las maniobras de operación más complicadas es colocar la embobinadora en la posición de trabajo, es por esto que crear un mecanismo sencillo de movimiento transversal hacia un costado de la máquina cuando esté deshabilitada es de vital importancia. Se propone un sistema de rieles en los que la alienación esté establecida para su fácil acoplamiento. Estos se ubicarán en la parte trasera de la guillotina, con cuatro rodos en la base de la guillotina que deberán soportar los casi 900 kilogramos de su peso para un fácil desplazamiento. La longitud de los perfiles en T de acero usados para los rieles es de aproximadamente 5 metros con una sección desacoplable para evitar la obstaculización del paso de operadores.

Con esto se tendrá un aprovechamiento en el tiempo de colocación y por lo tanto de producción.

4.2. Equipo auxiliar

La propuesta de rediseño en el equipo auxiliar, se basa específicamente en crear un desempeño ideal, donde se tenga una eficiencia máxima de equipo durante la planificación ya establecida, donde los mantenimientos estén basados en el desarrollo de una mejor producción.

4.2.1. Compresor y bomba de agua

Este equipo deberá ser colocado en una cimentación diseñada correctamente al ser una máquina reciprocante que crea vibraciones. Este prediseño constará de conocer que se debe tener entre tres y cinco veces la masa del compresor y su tanque y según Suresh Arya “el espesor debe ser mayor que 1/5 de la dimensión menor en la planta, 1/10 que la dimensión mayor y es conveniente empotrar 80% del espesor dentro del terreno, tomando en cuenta que el valor de la altura H, desde la base al centro de gravedad combinado entre el cimiento y la máquina, deberá ser menor al ancho de la cimentación y este menor a $1,5 H$ ”⁴

Este procedimiento deberá ser repetido para la correcta instalación de la bomba conectada a la torre de enfriamiento, por la cual se deberá sustituir la placa actual por una cimentación que retrase la oxidación, ya que esta se encuentra al aire libre, por lo que deberá tener una altura que evite tenerla en contacto con agua estancada en caso de lluvias extremas.

Aparte se debe corregir la instalación de la tubería de distribución de aire comprimido, ya que presenta los problemas comunes de poco manejo de condensado, en los que las tomas desde la tubería principal de 3/4 de pulgada, no se toman desde la parte superior de la misma, sino desde la inferior, dejando circular el condensado por los equipos y mangueras.

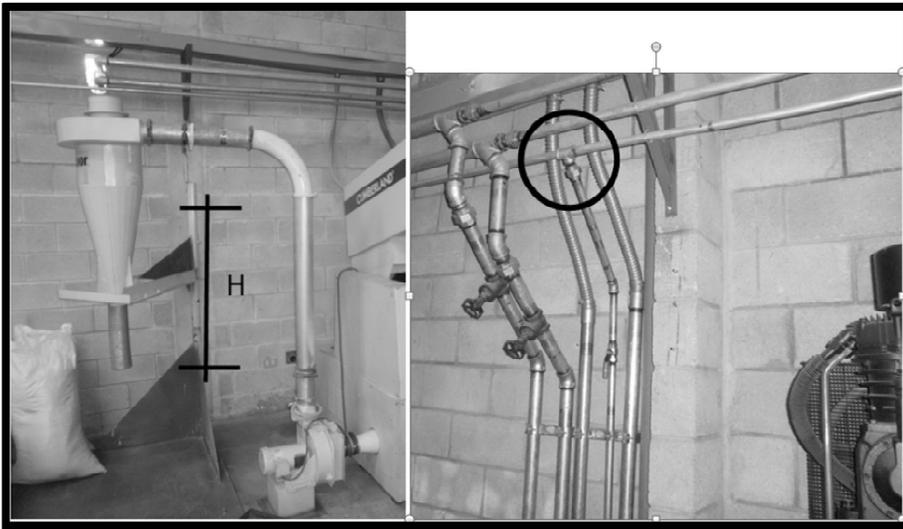
⁴ AYRA, Suresh; O'NEIL, Michael; PINCUS, George. *Diseño de estructuras y fundamentos para máquinas vibrantes.* [en línea] http://www.areadecalculo.com/monograficos/maquivibra/Guia_Cimentaciones_para_maquinas_vibrantes.html. [Consulta: 03 de julio de 2012].

Otro punto de rediseño será una llave de purga de condensado y el grado de inclinación del 1% del largo de toda la tubería, con lo que se logrará un correcto manejo y extracción del agua condensada en la tubería.

4.2.2. Molino

El molino deberá ser modificado no en equipo, sino en estructura, ya que la descarga, luego de la trituración del material, se encuentra a una altura que evita su fácil acceso cuando se utilizan costales de gran tamaño, pesando aproximadamente entre 400 y 700 kilogramos, lo que complica la maniobrabilidad al tener dicho peso. Por tanto se propone subir aproximadamente 1,10 metros de la salida de la tobera para ajustar con tubo de aluminio la toma por costales individuales de 50 kilogramos o los anteriormente mencionados.

Figura 35. Toma de molino y tubería actual en compresor



Fuente: planta de extrusión, San Miguel Petapa, Guatemala.

5. VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD

5.1. Reacondicionamiento

Estos procedimientos se enfocan en mejorar y facilitar la operación, de ahí, que se conocen a base de experiencias y condiciones que se presentan, se desarrollen mientras se avanza con la producción, por tanto, algunas de estas operaciones fueron realizadas mientras se desarrollaba el presente trabajo, determinando que su viabilidad dependa en un 50% de la disponibilidad de la producción, programando los cambios y arreglos para cuando no exista un traslape de obras y el otro 50% en la calendarización de obras de mantenimiento.

Su factibilidad recae en las habilidades, herramientas y creatividad que posea el equipo que realice las obras de reacondicionamiento; y debido a que la razón inicial de modificación es por una demanda de operación, se requiere listar los materiales y necesidades primordiales antes de realizar cualquier tipo de trabajo, dejando como resultado un 99% de probabilidad que se realicen todas las tareas de reacondicionamiento propuestas.

5.2. Rediseño

El proyecto de rediseño se enfoca en eliminar al 100% las fallas encontradas en la máquina durante la producción, convirtiendo el proyecto presentado en un cambio no del todo trascendental, ya que aún con fallas es posible operar la maquinaria y no recurrir a gastos extremos de cumplimiento de rediseño.

Esto reduce la probabilidad de realización a un 50%, los cambios presentados en un nuevo diseño deben ser analizados y estudiados desde lo más básico, que son costos de materiales y mano de obra, hasta las pérdidas por paros o comparación de beneficio-costos actual y posterior.

5.3. Costos

La propuesta de reacondicionamiento y rediseño, se basa específicamente a que los indicadores de eficiencia y calidad muestran una baja calificación según el Departamento de Producción de la empresa en estudio, lo cual obliga a que el desarrollo de dicha propuesta dependa en su totalidad de la inversión total en la moneda local, para lograr determinar los beneficios que se obtengan de la misma.

5.3.1. Equipo a reacondicionar

Los trabajos propuestos plantean, como cualquier tipo de mantenimiento, una mejora en la producción, es decir, un incremento en las ganancias de ventas y una reducción en los costos por manufacturación y materia prima; aquí entra en primer plano la relación íntima entre el Departamento de Producción y de Mantenimiento, ya que en un concepto muy general los dos tienen como objetivo principal dicho planteamiento.

Cuando se hace referencia al equipo principal se toman en cuenta los gastos posibles de reacondicionamiento y rediseño propuestos y una cotización en el mercado guatemalteco mostrará cifras aproximadas de la inversión a la que se estará enfrentando en materiales y equipo.

Esto tomando en cuenta que la variación de precios dependerá del proveedor y el personal requerido para dichas tareas, en las que se deberá agregar un factor de incerteza, por herramientas o problemas de los que surja necesidad de añadir y solucionar.

Tabla VI. **Listado de cotización en reacondicionamiento y rediseño**

Equipo	Precio aproximado en mercado guatemalteco o importación (Q)*
Filtro de aire para motor DC	460,00 – 640,00
Tapa de reductor	500,00 – 600,00
Tolva rediseñada en proveedor	35 000,00 – 64 000,00
Resistencias eléctricas tipo abrazadera	800,00 c/u x 23= 18 400,00
Mallas diseñadas a la medida	85,00 c/u= 4 000,00
Sustitución en mangueras	145,00 x metro = 4 425,00
Grasa de alta temperatura	5 400,00 x cubeta (trimestralmente)
Pernos de anclaje y mano de obra calandria	8 500,00 aproximadamente
PLC técnico	1 500,00 honorarios
Adaptación cuchillas y base	3 500,00 x maquinado
Trabajo estructura en rodillos jaladores	5 500,00
Cadena de transmisión en rodillos	800,00
Cilindros neumáticos guillotina	750,00 c/u
Rodillo de columpio	3 500,00
Instalación ruedas y rieles	10 000,00 aproximadamente
Cimientos y antivibración compresor	7 500,00 aproximados
Tubería	1 900,00 material + 2 000,00 obra
Arreglos en salida material de molino	500,00 obra y 300,00 material
Total	*Cantidades aproximadas, variando por tiendas y técnicos de obra.
	139 615,00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Los polímeros forman parte importante en la vida actual de cualquier persona, se encuentran en herramientas, utensilios de cocina, piezas de maquinaria, entre muchas otras aplicaciones. Esto hace que la industria de procesamiento de los diferentes polímeros tenga planes de superación constante en ventas, presencia en mercado y calidad de productos y de una planta de producción mucho más eficiente.
2. La presencia del poliestireno en Guatemala sigue en crecimiento y la venta de láminas utilizadas en el mercado publicitario proviene de países como El Salvador y México, donde la importación ha generado que la demanda de una planta local sea mayor, por tanto tener en condiciones ideales una maquinaria de extrusión puede ser una estrategia muy rentable.
3. Para tener un desempeño ideal del equipo de extrusión es necesario tener un plan de mantenimiento preventivo eficiente, donde, en coordinación con los Departamentos de Producción y Administrativo se programen las tareas que beneficien el crecimiento de la planta y sus colaboradores.
4. La calidad de la operación, materia prima y planificación se verán reflejadas en la salida del producto, ya que al ser un proceso de producción con una continuidad constante, cada una de las acciones de los equipos involucrados afectará en el resultado final.

5. Al carecer de algunos controles y condiciones que ayuden a la puesta en marcha de la maquinaria, los operarios deben encontrar alternativas y formas empíricas de manejar los parámetros más importantes para una producción eficiente y de gran calidad.
6. Las propuestas de reacondicionamiento y rediseño involucran un análisis de parte de los departamentos involucrados en la búsqueda de las metas más importantes de la empresa, por ello, el proyecto dependerá en un 100% de dicho estudio.
7. Los procedimientos propuestos quedan a criterio de una planificación en la empresa ya que el objetivo es la mejora en la operación, no se establece un orden en serie por seguir, dejando a criterio las obras de reacondicionamiento por ejecutar.
8. El rediseño es una propuesta generada a partir de los problemas presentados por los equipos a los cuales un reacondicionamiento resultaría de gran dificultad y conviene más una sustitución de la pieza o equipo por una de nuevo diseño.

RECOMENDACIONES

1. En la planta de producción es muy importante preservar la calidad durante todo momento del proceso y esto se logra con el cuidado de todos los factores que influyen en el mismo, la maquinaria, los materiales y el personal; y es en este último donde se debe prestar una importancia de mayor magnitud, ya que es la fuerza motriz de la planta, se deberá establecer un plan de seguridad industrial, donde las normas, reglamentos, equipo de asistencia y una cultura de seguridad sean implantados desde el inicio del período laboral del colaborador en la empresa. Este tipo de medida dará otra razón por la cual al calificar el producto dentro del mercado se obtendrá un puntaje alto.
2. La prontitud con la que se logren desarrollar los primeros pasos del proyecto de reacondicionamiento, será un gran avance en el control de calidad del producto de venta, esto aunque la planta tenga pocos meses de estar en funcionamiento, mientras más temprana sea su preparación para un mercado en crecimiento, mejor será su respuesta ante la demanda que existirá.
3. La elaboración de un manual de operaciones paralelamente con un manual de mantenimiento establecerá un punto de partida en las mejoras constantes de procesos de producción, venta y mejora de calidad que llevarán a la empresa a alcanzar una meta más sostenible.

Dichos manuales dependerán de la experiencia reciente de operación de maquinaria, de problemas que han surgido y soluciones a los mismos en conjunto con los conocimientos de ingeniería aplicados para un desarrollo exitoso en la vida útil de la maquinaria.

4. Asimismo, es de gran importancia que cada una de las tareas ejecutadas dentro y fuera de la empresa sean enfocadas a partir de una planificación muy bien detallada, en la que la comunicación sea un factor determinante. Se recomienda llevar procedimientos de notificación de logro de metas, así los colaboradores irán enfocados hacia un mismo lugar, obteniendo mayor satisfacción al llevar a cabo sus tareas diarias, sabiendo que pertenecen a un grupo de trabajo en donde existirán diferentes talentos y operaciones pero que todos se dirigen con el mismo deseo de crecimiento en el mercado de los polímeros.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASENCIO AGUILAR, Sandra Leticia. *Implementación de un manual de mantenimiento preventivo para la línea de néctares envasados Tetra Pack*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 99 p.
2. AYRA, Suresh; O'NEIL, Michael; PINCUS, George. *Diseño de estructuras y fundamentos para máquinas vibrantes*. [en línea] http://www.areadecalculo.com/monograficos/maquivibra/Guia_Cimentaciones_para_maquinas_vibrantes.html. [Consulta: 03 de julio de 2012].
3. BELTRÁN, M.; MARCILLA, A. *Tecnología de polímeros*. [en línea] <http://iq.ua.es/TPO/Tema3.pdf>. [Consulta: 05 de agosto de 2012].
4. CARVAJAL INFORMACIÓN. *El poliestireno expandible (EPS) y el medio ambiente*. [en línea] <http://www.plastico.com/>. [Consulta: 17 de agosto de 2012].
5. CHANG CHANG, José Arturo. *Análisis del aire comprimido de formado en el proceso de termoformado*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993. 42 p.

6. COPESA. *Plástico*. [en línea] <http://www.profesorenlinea.cl/mediosocial/plastico.htm>. [Consulta: 03 de agosto de 2012].
7. ERDMENGER ESCOBAR, Luis Enrique. *Manual de operación y mantenimiento básico para equipos municipales*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1969. 93 p.
8. EUROPEAN BIOPLASTICS. *Estudio de plásticos biobasados* [en línea]. <http://en.european-bioplastics.org/>, http://en.european-bioplastics.org/wpcontent/uploads/2012/04/EuBP_Statement_Biobased_plastics_study_120427.pdf. [Consulta: 17 de agosto de 2012].
9. GÓMEZ DOMINGUEZ, María del Carmen. *Uso de polímeros en la fabricación de productos plásticos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 85 p.
10. GÓMEZ RECINOS, Edwin Estuardo. *Termoplásticos en la señalización horizontal de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 76 p.
11. GRUPO CM, COMPAÑÍA YAMANDA. *Manual de mantenimiento de maquinaria*. [en línea] http://www.acm-tools.com/pdf/maintenance_manual. [Consulta: 20 de agosto de 2012].

12. 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, 1994. 81 p.
13. PADILLA, Enma Janeth. *Diseño de un sistema de gestión de calidad, utilizando técnicas estadísticas, en una fábrica de productos termoplásticos*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 192 p.
14. PEREDA MARROQUÍN, Erwin Leonel Stuardo. *Análisis técnico financiero de la inversión en moldes para la fabricación de artículos elaborados en materiales termoplásticos*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996. 69 p.
15. Proyecto APREMAT, Ministerio de Educación del Salvador. *Manual de funciones y guía de implantación de un sistema de mantenimiento preventivo programado*. [en línea] http://www.mined.gob.sv/apremat/investigaciones/invest_22/invest_22ti.html. [Consulta: 14 de agosto de 2012].
16. SALVATIERRA VILLATORO, Edgar Roel. *Manual de mantenimiento preventivo de moldes de inyección para la industria productora de envase plástico Pet*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 93 p.

17. THE FEDONIA GROUP INC. *Plásticos biodegradables*. [en línea]. http://www.bioplasticsmagazine.com/en/books/degradable_plastics.php. [Consulta: 19 de agosto de 2012].

18. UNIVERSIDAD INTERACTIVA Y A DISTANCIA DEL ESTADO DE GUANAJUATO. *Procesos de manufactura resumen del módulo 5 y 6*. [en línea] <http://www.slideshare.net/gvelascq/procesos-de-manufactura-resumen-mod-5-y-6>. [Consulta: 24 de julio de 2012].