



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

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN LA
INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS FLEXIBLES**

Carlos Renato Reyes Juárez

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, junio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
EN LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS FLEXIBLES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS RENATO REYES JUÁREZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

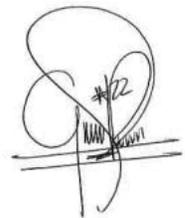
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruíz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS FLEXIBLES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 29 de julio de 2019.

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'C' and 'R' with a vertical line extending downwards from the 'R'. The signature is written over a horizontal line.

Carlos Renato Reyes Juárez

Guatemala, 21 de octubre de 2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director Escuela Ingeniera Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales:

Por este medio le doy a conocer que la revisión que he realizado del trabajo de graduación del estudiante Carlos Renato Reyes Juárez, con el registro académico 201213101 y CUI 2178999431503, titulado **“PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS FLEXIBLES”**, se ha concluido satisfactoriamente.

Agradeciendo la atención prestada,

atentamente,



Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Ingeniero Mecánico Industrial
Número de colegiado 3071
ASESOR



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.158.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS FLEXIBLES** del estudiante **Carlos Renato Reyes Juárez**, CUI **2178999431503**, Reg. Académico **201213101** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, noviembre 2021

/aej

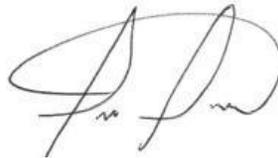
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

LNG.DIRECTOR.134.EIM.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS FLEXIBLES**, presentado por: **Carlos Renato Reyes Juárez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

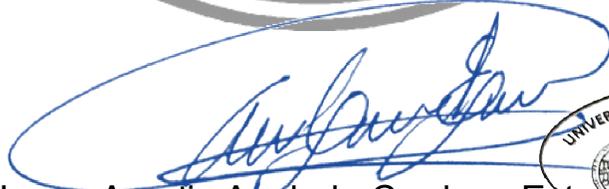
Guatemala, junio de 2022

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.457.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE PELÍCULAS FLEXIBLES**, presentado por: **Carlos Renato Reyes Juárez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, junio de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la oportunidad de cerrar este ciclo y alcanzar esta meta con su ayuda.
- Mis padres** María Dolores Juárez Arellano y Juan Carlos Reyes García, por ser pilares de mi vida, por su amor, apoyo y cariño incondicional y por haberme dado las herramientas necesarias para culminar mi carrera, siempre serán mi inspiración. Los amo hasta el infinito.
- Mis hermanas** Alicia y Emily, por ser parte de este logro, que sin su apoyo y amor no lo hubiera logrado. Gracias por de dos, las amo hermanas, ustedes son lo más valioso.
- Mi tía** Vilma Judith Reyes García, por haberme abierto las puertas de su casa y por darme su cariño en todo momento y su apoyo incondicional.
- Mis amigos** Lester Jerónimo, Marlon Ramírez, Erick Gallina, Javier Ramírez, Ricardo Aguilar, Víctor Donis, Byron Pérez, Carlos Martínez, Julio Hernández, Luis Pop, Melvin Tix, y a todos aquellos con quienes compartí aulas a lo largo de mi carrera y me brindaron su amistad.

Mi novia

Por tu cariño, amor, comprensión y por apoyarme en esta etapa de mi vida, sabes que te amo mucho. Gracias Amor.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme todas las herramientas y la oportunidad de formarme como profesional, muy orgulloso de pertenecer a la mayor casa de estudios del país.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos, habilidades y disciplina para desempeñarme como profesional.
Escuela de Ingeniería Mecánica	Por compartir su conocimiento, experiencia y capacidades para resolver un problema, a través de sus catedráticos.
Mi asesor	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez, por compartir sus conocimientos y experiencia en la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES	1
1.1. Industria de empaques.....	1
1.1.1. Industria de empaques de cartón	4
1.1.2. Industria de empaques de papel	8
1.1.3. Industrias de empaques de vidrio.....	10
1.1.4. Industria de empaques de metal	12
1.1.5. Industria de empaques flexibles	14
1.2. Organización convertidora de plásticos.....	18
1.2.1. Procesos administrativos	19
1.2.2. Procesos productivos.....	20
1.2.2.1. Extrusión	20
1.2.2.2. Flexografía	23
1.2.2.3. Laminación	25
1.2.2.4. Máquinas convertidoras.....	26
1.3. Clasificación de las películas flexibles.....	27
1.3.1. Antecedentes históricos de las películas flexibles	28
1.3.1.1. Empaque primario	30
1.3.1.2. Envoltura	30

1.3.1.3.	Bolsas preformadas	30
2.	MARCO TEÓRICO	31
2.1.	Sistema de agua helada	31
2.2.	Chiller, tipos de chillers y clasificación.	32
2.2.1.	Definición de Chiller.....	32
2.2.2.	Clasificación de las unidades chillers por su modo de compresión y su modo de enfriamiento.	33
2.3.	Chillers enfriados por agua vs. los enfriados por aire	34
2.4.	Componentes de un sistema de agua helada	37
2.5.	Condensador del chiller	37
2.5.1.	Condensador enfriado por aire.	38
2.5.2.	Condensador enfriado por agua.	38
2.5.3.	Compresor del chiller	39
2.5.4.	Evaporador del chiller	39
2.5.5.	Torre de enfriamiento	40
2.5.6.	Sistema de distribución de agua fría	41
2.6.	Bombas de agua helada.....	41
2.6.1.	Bombas centrífugas	42
2.6.2.	Componentes de una bomba centrífuga	43
2.6.3.	Bombas primarias y secundarias	44
2.7.	Máquinas en la industria de plástico	45
2.7.1.	Extrusoras	45
2.7.1.1.	Partes de la extrusora	48
2.7.1.2.	Tipos de extrusoras.....	53
2.7.2.	Impresoras.....	54
2.7.2.1.	Partes de la impresora	55
2.7.2.2.	Tipos de impresoras.....	58
2.7.3.	Laminadoras.....	60

2.7.3.1.	Partes de laminadora.....	61
2.7.3.2.	Tipos de laminadoras	64
3.	FASE DIAGNÓSTICA.....	65
3.1.	Sistema de enfriamiento	65
3.2.	Temperatura del agua en Extrusoras	66
3.2.1.	Temperatura de inyección de IBC	67
3.2.2.	Temperatura de la garganta y motoreductor	67
3.2.3.	Rodillo NIP	68
3.3.	Temperatura del agua en Impresión	70
3.3.1.	Temperatura en el tambor central	71
3.3.2.	Temperatura de los rodillos de la calandria	72
3.4.	Temperatura del agua en laminación	72
3.4.1.	Temperatura de los rodillos aplicadores	72
3.4.2.	Temperatura de los rodillos laminadores.....	73
4.	PROPUESTA DE MEJORA DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.....	75
4.1.	Elección y Selección adecuada del sistema de enfriamiento.....	75
4.2.	Elección y Selección adecuada de las torres de enfriamiento	79
4.3.	Mantenimiento preventivo al sistema de enfriamiento	81
4.3.1.	Calidad del Agua	84
4.3.2.	Eliminación de contaminantes en el sistema	85
4.4.	Elección y selección de tuberías	86
4.5.	Elección y selección de accesorios para tuberías	88
4.6.	Caudal del agua en las tuberías.....	89
4.7.	Diseño de tuberías.....	89
4.7.1.	Altura de las tuberías	92
4.7.2.	Pérdidas en las tuberías.....	94

CONCLUSIONES 97
RECOMENDACIONES 99
BIBLIOGRAFÍA 101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Cartón corrugado de una cara.....	6
2.	Cartón corrugado sencillo.	6
3.	Cartón de doble corrugado.....	7
4.	Cartón de triple corrugado.....	7
5.	Molécula ramificada de LDPE.	16
6.	Molécula ramificada de HDPE.....	17
7.	Partes de una extrusora.	22
8.	Bobina.....	23
9.	Esquema de impresión.....	25
10.	Chiller enfriado por aire.	34
11.	Eliminación de calor.	35
12.	Chiller enfriado por agua.	35
13.	Torre de enfriamiento.	40
14.	Bomba centrífuga.	44
15.	Extrusora de husillo simple.	47
16.	Tornillo de extrusión.	48
17.	Cilindro.....	49
18.	Garganta de alimentación.	50
19.	Tolvas... ..	51
20.	Plato rompedor y filtros.	52
21.	Cabezal y boquilla.....	53
22.	Impresora.....	54
23.	Desbobinador.....	55

24.	Tintero.....	56
25.	Cuerpo impresor.....	57
26.	Horno de secado.....	58
27.	Torre.....	59
28.	Cilindro común, Tambor central.....	59
29.	Laminadora.....	60
30.	Estación de aplicación.....	61
31.	Sistema de extracción.....	62
32.	Rodillo NIP.....	63
33.	Temperatura del agua en extrusoras.....	66
34.	Temperatura de IBC.....	67
35.	Temperatura en la garganta y motoreductor.....	68
36.	Sistema de enfriamiento en rodillo.....	69
37.	Temperatura en corema.....	69
38.	Temperatura en impresora.....	70
39.	Temperatura en tambor central.....	71
40.	Temperaturas en los coremas de aplicación.....	73
41.	Temperaturas en los coremas de laminación.....	74
42.	Ciclo de enfriamiento de un chiller.....	77
43.	Chiller comprado.....	79
44.	ADcooler Torre adiabática.....	81
45.	Ramal de distribución de agua dentro de la planta.....	93
46.	Soportes de tuberías.....	94
47.	Diferentes pérdidas en las tuberías.....	95

TABLAS

I.	Funciones del empaque.....	2
II.	Cuadro comparativo de cartón.....	5

III.	Cuadro comparativo de papel.	8
IV.	Cuadro comparativo de vidrio.....	10
V.	Cuadro comparativo de metal.	12
VI.	Cuadro comparativo de empaques flexibles.....	16
VII.	Porcentaje de glicol en el agua a cierta temperatura.....	85

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
θ	Ángulo
°C	Celsius
D	Diámetro
L	Distancia
°F	<i>Fahrenheit</i>
Fe	Hierro
HG	Hierro galvanizado
kg/h	Kilogramo por hora
Psig	Libras por pulgada cuadrada
W	Paso de la rosca
%	Porcentaje
Ph	Porcentaje de hidrógeno
TON	Tonelada
UV	Ultravioleta

GLOSARIO

Anilox	Es un rodillo regular de tinta usado en impresión flexográfica, el material de este cilindro es de acero cromado grabado de forma mecánica o de cerámico grabado por láser para así tener una superficie con microceldas, las cuales sirven para controlar el nivel de tinta transmitido en el curso de la impresión.
Chiller	Máquina que elimina el calor de un líquido.
CHW	<i>Chilled Water System</i>
Clichés	Es una técnica de impresión que, mediante la utilización de una placa de material flexible con un relieve se puede llegar a imprimir el material.
Dry Cooler	Son torres adiabáticas porque son unas torres de enfriamiento que trabajan en circuito cerrado, es decir, el agua nunca va en contacto con el aire.
Enfriamiento	Disminución de la temperatura de un cuerpo o de un lugar.
Flexografía	Es un método de impresión rápida y técnica y desarrollo tecnológico, ideal para gráficos de empaques y para impresión/conversión.

HTW	<i>High Temperature Water</i>
LTW	<i>Low Temperature Water</i>
Moléculas	Agrupación definida y ordenada de átomos que constituye la porción más pequeña de una sustancia pura y conserva todas sus propiedades.
MTW	<i>Medium Temperature Water</i>
Polietileno	Sustancia plástica, sólida y translúcida, compuesta por polímeros de etileno.
PVC	Policloruro de vinilo
<i>Stretch film</i>	Producto de embalaje que sirve para asegurar y fijar a un palet.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es presentar una propuesta de mejoramiento en la eficiencia del sistema de enfriamiento para que la cantidad de enfriamiento en el área de producción sea la adecuada.

Se inició con la evaluación del actual sistema de enfriamiento, conociendo los tipos de chillers que se tienen, posterior se hacen entrevistas al personal de mantenimiento sobre la carga de enfriamiento que se tiene en la planta de producción. Se hace un recorrido desde la ubicación inicial de los chillers, se conocen las diferentes tuberías de distribución de agua a las diferentes máquinas.

En la industria de fabricación de películas flexibles es parte importante el sistema de enfriamiento, ya que las películas pasan por calor para formarse y luego pasan por rodillos fríos que enfrían el material para que este material no tenga problemas de calidad.

Para finalizar se hace una descripción del nuevo sistema de enfriamiento que se instaló.

OBJETIVOS

General

Realizar una propuesta de mejora de la eficiencia del sistema de enfriamiento en la industria de fabricación de películas flexibles.

Específicos

1. Mejorar el sistema de enfriamiento, principalmente en las partes de las máquinas que están en contacto con el agua.
2. Mejorar la redistribución en la carga de enfriamiento.
3. Determinar las temperaturas del agua que están en contacto con los elementos mecánicos de las máquinas de elaboración de películas flexibles.
4. Especificar el sistema de enfriamiento necesario que debe haber para la mejora en la eficiencia de los procesos de fabricación de películas flexibles.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas que se dedican a la fabricación de películas flexibles han ido creciendo a pasos agigantados, evolucionando y actualizándose, esto con el propósito de entregar un producto de la más alta calidad, para sus clientes.

La tecnología día a día sigue creciendo, las plantas de producción de películas flexibles deben estar a la vanguardia y poseer los mejores equipos de enfriamiento, es por ello que se plantea la propuesta de mejora en la eficiencia del sistema de enfriamiento para aumentar así la eficiencia en los elementos mecánicos que requieran agua fría.

En la actualidad la empresa de fabricación de películas flexibles cuenta con un sistema de enfriamiento muy antiguo y no se obtiene la cantidad de enfriamiento necesario para todas las máquinas, por tal motivo se ve en la necesidad de mejorar la eficiencia del sistema de enfriamiento mediante la compra de un nuevo equipo de enfriamiento que traerá consigo una mejora exponencial en la eficiencia de enfriamiento para todos los elementos mecánicos de las máquinas de producción.

1. GENERALIDADES

1.1. Industria de empaques

Desde tiempos inmemorables se vio la necesidad del uso de los envases; aunque en ese momento se utilizaban para la protección de los alimentos, pertenencias personales, vestimentas o cualquier elemento de valor; con el tiempo se crearon elementos con materiales específicos según la necesidad.

Envase se refiere a un envoltorio o contenedor con contacto directo con un producto; tiene como función principal protegerlo y ofrecer una adecuada presentación para distinguirlo de los demás y facilitar su manejo, transporte, almacenaje, manipulación y distribución al cliente final.

Hace algunos años se detectó la oportunidad del diseño de empaques, utilizados como envases o protectores de los envases, ambos con una mejor presentación como producto terminado, con un enfoque orientado a aumentar sus ventas y la distinción sobre otros productos para ubicarlo como una ventaja competitiva que sensibilice al consumidor, para crear la necesidad de comprar esa marca específica y con esto lograr ser líder en el mercado.

Actualmente, se cuenta con varios tipos de empaques clasificados según su material: cartón, papel, vidrio, metal y flexibles; su utilización varía dependiendo del producto y sus características de almacenamiento o anaquel.

A continuación, se desglosan las funciones más relevantes de un empaque:

Tabla I. **Funciones del empaque**

Funciones del empaque
Contener y aglutinar al producto
Proteger el producto
Proteger al usuario o consumidor
Exhibir e identificar el producto
Dosificar el producto
Hacer más atractivo el producto
Facilitar el consumo

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Contener y aglutinar al producto: especialmente en aquellos de naturaleza gaseosa y líquida, o forma de polvo o pequeños elementos que necesariamente deban ser conjuntados.
- Proteger el producto: contra la acción de diversos elementos: disipación, contaminación, temperatura, viento, luz solar o cierto tipo de radiación como los rayos infrarrojos y ultravioleta, golpes, humedad, entre otras.
- Proteger al usuario o consumidor: evitar posibles daños por el inadecuado o incorrecto uso o consumo del producto.
- Exhibir e identificar el producto: en algunos artículos sirve para colocar el producto a la vista y disposición de los posibles compradores para estimular la compra: blíster, golosinas, juguetes y muchos productos más.
- Dosificar el producto: algunos envases cuentan con medidas y formas de suministrar el producto en las cantidades que desea el consumidor o usuario, envases dosificadores de medicamentos, botellas de plástico, envases de condimentos alimenticios, entre otros.

- Hacer más atractivo el producto: con su forma y utilidad, mediante el diseño gráfico con información, colores y figuras, comunica al posible comprador las características relevantes y obligatorias o exigencias por la normatividad aplicable en relación con su contenido; además motiva la compra resalta las ventajas de lo que contiene.
- Facilitar el consumo: debido a su diseño ergonómico, que facilita abrirlos, cargarlos y manejarlos con mayor facilidad.

Nivel de empaque:

- Primario: recipiente en contacto directo con el producto.
- Secundario: es el empaque que contiene al primario. Su principal función es agrupar los productos para la distribución y muestra al posible comprador.
- Terciario: es el empaque que se utiliza después del envase secundario, también conocido como embalaje o empaque de transporte. Este normalmente se utiliza para almacenar o agrupar cantidades de producto ya con su respectivo empaque secundario. Tarimas, *stretch film*, cajas, contenedores, entre otros.
- Tipos de empaques: el tipo genérico del empaque atiende al material del que está hecho y a la forma, aplicación o propósitos particulares o nivel de resistencia: botella, lata, caja, bolsa, ampolla, frasco, estuche, blíster, entre otros.

Debe analizarse si el tipo del envase es acorde con las características del producto, los gustos y costumbres en el mercado meta, si constituye un factor que pueda hacer atractivo al producto para el consumidor.

Así mismo, en la actualidad la tendencia de los empaques está determinada por estos factores:

- **Sustentabilidad:** la producción de empaques con materiales reciclado, con el propósito de cumplir con un deber impuesto por el consumidor final o las corrientes actuales de reducción del impacto ambiental.
- **Mercadotecnia:** el empaque se enfoca en el factor de imagen para ofrecer al consumidor final, determinando así, la aceptación o rechazo del producto.
- **Conveniencia:** los cambios constantes en los ámbitos de economía, laborales, de estilos de vida, la composición de las familias y las nuevas tendencias de salud ha realizado cambios en las costumbres de los consumidores, realizando cambios tanto en los productos como en los empaques de los mismos.

1.1.1. Industria de empaques de cartón

Los empaques de cartón son los que ofrecen mayor protección al producto y su embalaje. Está elaborado por múltiples capas de papel, según el calibre deseado las cuales le proporcionaron rigidez y resistencia al empaque. Además, ofrecen seguridad; a continuación, se mencionan algunas de las ventajas y desventajas de los empaques de cartón.

Tabla II. **Cuadro comparativo de cartón**

Ventajas	Desventajas
Versatilidad para darle forma y dimensionarlos	Pueden ser frágiles y romperse por la humedad y el calor
Son ergonómicos	Son permeables al agua y las grasas
Son livianos	Absorben olores y gasa
Se pueden reciclar y reutilizar	
Son económicos	

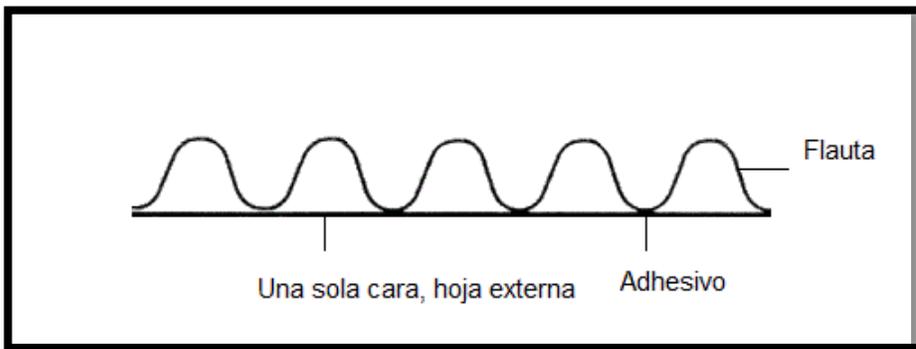
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los empaques se pueden obtener de diferentes tipos de cartón, los cuales brindan características diferentes, según el producto para el cual fue destinado. Los tipos más comunes de cartón utilizados son:

- **Cartón kraft:** se utiliza principalmente para la elaboración de cajas y charolas, ya que sus propiedades son la tenacidad y la resistencia a la tracción, el alargamiento y la rotura. Se utiliza como empaque para una variedad de productos: paquetes de cigarrillos, productos farmacéuticos, alimentos, cajas de calzado, cajas de teléfonos celulares, entre muchos otros.
- **Cartón corrugado:** se utiliza para empaques de productos frágiles y cajas de embalaje. Se utiliza como empaque para una variedad de productos: alimentos, equipos, electrodomésticos o maquinaria. Este tipo de cartón es una combinación de papel tipo *liner* (caras exteriores); y de papel médium o flauta (que es la estructura interna) Combinados proporcionan mayor resistencia.

- Corrugado de una cara: está formado por una sola capa tipo línea pegada a una flauta o cartón curvado.

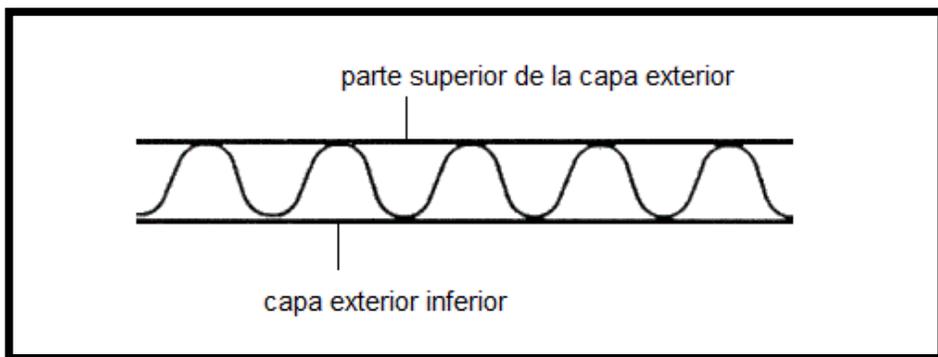
Figura 1. **Cartón corrugado de una cara**



Fuente: Arkiplus. *Tipos de cartón*. <https://www.arkiplus.com/tipos-de-carton-corrugado>.
Consulta: 4 de septiembre de 2019.

- Corrugado sencillo: consta de dos caras y una flauta.

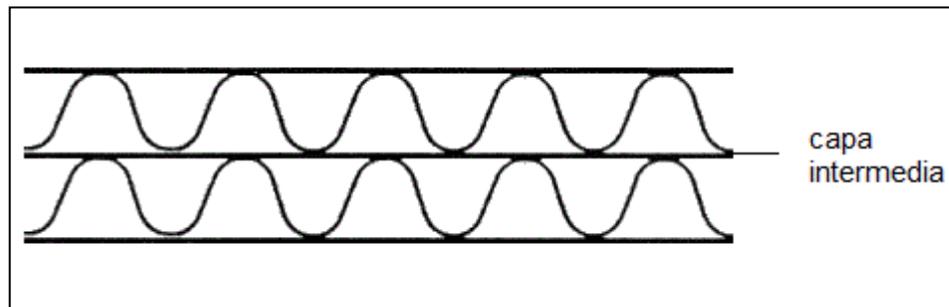
Figura 2. **Cartón corrugado sencillo**



Fuente: Arkiplus. *Tipos de cartón*. <https://www.arkiplus.com/tipos-de-carton-corrugado>.
Consulta: 4 de septiembre de 2019.

- Doble corrugado: consta de dos flautas separadas una de otra por un forro interior o capa de cartón, también, cuenta con dos capas exteriores; este tipo de material utiliza para cargas muy pesadas.

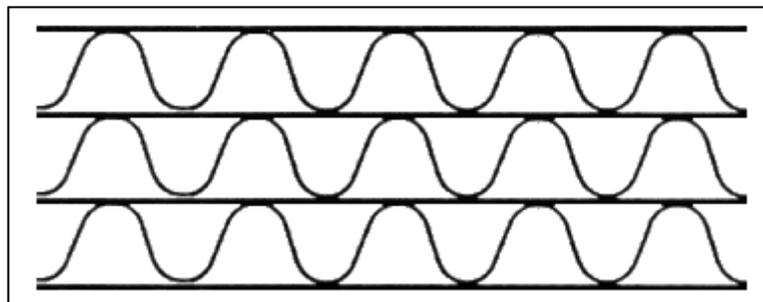
Figura 3. **Cartón de doble corrugado**



Fuente: Arkiplus. *Tipos de cartón*. <https://www.arkiplus.com/tipos-de-carton-corrugado>.
Consulta: 4 de septiembre de 2019.

- Triple corrugado: tiene tres flautas separadas cada una de un forro interior o capa intermedia, también, se utiliza para cargas demasiado pesadas.

Figura 4. **Cartón de triple corrugado**



Fuente: Arkiplus. *Tipos de cartón*. <https://www.arkiplus.com/tipos-de-carton-corrugado>.
Consulta: 4 de septiembre de 2019.

- Cartón chip: se utiliza principalmente para la elaboración de cajas debido a que es un material grueso y resistente. Se utiliza para empaques especiales de gran resistencia: envases de vidrio o productos pesados.

A pesar de las ventajas que el cartón como material de empaque contiene, a partir del avance que han tenido los empaques plásticos, han decaído; por lo tanto, actualmente, los productos de empaques de cartón buscan la forma de crear empaques con características diferentes a las demás o la fusión de cartón con cualquier otro material para obtener un empaque con mejores propiedades mecánicas y un diseño innovador.

1.1.2. Industria de empaques de papel

El papel es un material para empacar, distribuir y comercializar productos, cuenta con características atractivas para los consumidores: versátiles, ergonómicos, resistentes, prácticos, económicos y una de sus principales características, reciclables, por lo tanto, amigables con el ambiente.

Así como los empaques de papel cuentan con características atractivas, se pueden mencionar algunas ventajas y desventajas:

Tabla III. Cuadro comparativo de papel

Ventajas	Desventajas
Es versátil para darle forma y dimensionado	No apto para productos húmedos o tendrán en contacto con agua
Son ergonómicos	Es permeable al agua y grasas
Son livianos	Absorbe olores y gases
Son herméticos	
Se pueden reciclar y reutilizar	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los tipos de papel más utilizados para la elaboración de empaques son el papel kraft, pergamino vegetal y papel encerado; cada uno se utiliza para cierta gama de productos ya que tienen características distintas que funcionan de mejor forma para ciertos productos; a continuación, una breve explicación de los mismos.

- Papel kraft: es un tipo de papel color café que se identifica por su resistencia; comúnmente con este se producen bolsas, sacos, empaques primarios y envolturas.
- Papel pergamino vegetal: es un tipo de papel transparente elaborado para tener contacto con alimentos; cuentan con alta resistencia o barrera a las grasas y humedad. Comúnmente utilizado para empaçar mantequillas, carnes y quesos.
- Papel *glassine*: es un tipo de papel translucido, es un papel muy denso ya que se elabora de esa forma con el propósito de impedir el paso de grasas y aceites; comúnmente, se utiliza para envolturas de alimentos.
- Papel encerado: este tipo de papel es semitransparente con una capa de cera, cuenta con una capa protectora de la humedad; se utilizan comúnmente para productos de repostería, congelados y cereales.
- Papel celofán: es un polímero natural derivado de la celulosa; es una película transparente, flexible y resistente, sin embargo, se rasga fácilmente. En la actualidad ya no se observan empaques de celofán como en años anteriores que se utilizaban como empaques de golosinas; esto se debe a que con el transcurso de los tiempos fue sustituido por las películas de polipropileno cuyo costo es mucho menor, aparte que en el

celofán no se podía imprimir, no contaba con propiedades de sellabilidad ni la barrera de humedad.

El papel en la actualidad es uno de los materiales más utilizado para la fabricación de empaques debido a su bajo costo, también, es un material con muchas ventajas sobre los demás materiales de empaque.

1.1.3. Industrias de empaques de vidrio

El vidrio es un material que se utiliza como envase y empaque para productos alimenticios, bebidas, perfumes, productos farmacéuticos y productos químicos los cuales requieren de cierto cuidado al manipularlos. Este es un material que se utiliza con menor frecuencia ya que es costoso, sin embargo, cuenta con ventajas y desventajas que a continuación se presentan.

Tabla IV. Cuadro comparativo de vidrio

Ventajas	Desventajas
Cuentan con barrera a la luz y los rayos UV que evitan la oxidación del producto	Es frágil. Pueden quebrarse y se pierde s contenido, incurriendo en gastos extras o daños
Transparencia	Es costoso
Herméticos	Es rígido
Impermeables al agua, gases y vapores	Es pesado, más que cualquier otro material de empaque
No altera el sabor ni aroma de los productos contenidos en el mismo	
Se pueden reciclar, reutilizar y muchas veces retornable	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El vidrio es un material elaborado de estabilizadores y principalmente de arena de sílice la cual existe en abundancia; sin embargo, el problema es que no es renovable. Por tal motivo, en la actualidad, la elaboración de empaques y envases de este material se ha reducido, ya que el consumidor final busca productos amigables con el ambiente. A pesar de esto, este es un material duro y resistente, el cual a través de su transparencia colabora con los productos que buscan transmitir pureza a través de los empaques, por ejemplo, las bebidas y productos farmacéuticos.

Se mencionó anteriormente que el vidrio se elabora con estabilizadores y a partir de estos existe una clasificación de envases según del vidrio que se emplea para su fabricación.

- Vidrio boro silicatado: es el vidrio boro, por eso es vidrio neutro. Cuenta con una alta resistencia a altas temperaturas y resistencia química, por lo tanto, se utiliza regularmente para envases farmacéuticos, ampollas, productos de laboratorio, entre otros.
- Vidrio calizo tratado: es el vidrio con tratamiento de dióxido de azufre, normalmente, es utilizado para envases de material hospitalario como sueros intravenosos, bebidas o inyectables.
- Calizo: este tipo de vidrio es el más usado para la elaboración de envases debido a su composición. Está formado de calcio y sodio y se utiliza para alimentos, vinos, licores, cervezas, agua, algunos productos farmacéuticos, cosméticos, refresco, entre otros.
- No parenteral: es el que se utiliza únicamente para la elaboración de productos inyectables y ampollas por ser un vidrio estéril y más delgado.

Los envases de vidrio son funcionales para diferentes gamas de productos, sus presentaciones son las botellas, frascos y ampollas. Este material ofrece una versatilidad de diseños en forma, tamaño y color, los más utilizados son los transparentes, ámbar y verde.

1.1.4. Industria de empaques de metal

Los empaques metálicos pueden elaborarse de aluminio u hojalata; en la actualidad, se utilizan para productos líquidos o sólidos, por ejemplo, alimentos, aceites, pinturas, lubricantes, entre otros. Al igual que los demás materiales utilizados para empaques, cuentan con ventajas y desventajas al utilizarlos.

Tabla V. **Cuadro comparativo de metal**

Ventajas	Desventajas
Versátil para producir diferentes formas, diseños y tamaños	Sensible a la oxidación por el contacto con agua o a la humedad
Conductividad térmica	Es pesado
Resistencia a altas temperaturas	Puede alterar el sabor de los productos alimenticios
Extenso tiempo de vida	Es costoso
Impermeable a la luz	
Se puede reciclar y reutilizar	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los empaques elaborados con metal pueden ser de dos tipos:

- Hojalata: es un material elaborado con acero, un porcentaje de carbono y recubrimiento de estaño; se utiliza principalmente para realizar envases de

pintura, lubricantes y aceites. Estos envases se pueden elaborar de distintos tipos de materiales:

- Lámina negra: lámina común que no cuenta con ningún tratamiento, comúnmente se moldea en forma tubular para la elaboración de productos ferreteros, cubetas y maquinaria.
 - Lámina estañada: es lámina común, tratada, con un baño de estaño, el cual cumple la labor de recubrir el material para utilizarlo en envases y latas.
 - Hojalata diferencial: conocida como latas o botes por su recubrimiento de diferentes combinaciones de estaño.
 - Lámina cromada: conocida como acero libre de estaño y se utiliza para tapas, corcholatas y fondos de latas por su resistencia al calor.
- Aluminio: es un material blando y maleable, el cual es muy utilizado por sus múltiples características y por ser un material reciclable que se utiliza para la elaboración de latas para bebidas, jugos, pastas y cervezas.

El metal es el material con el cual se elaboran empaques rígidos, esta es una característica importante; sin embargo, el factor, el factor costo ha hecho con el tiempo que los empaques de este material se reduzcan, por el uso de empaques flexibles que cuentan con las mismas características, pero son más económicas.

Los empaques elaborados de metal son utilizados en el mercado con frecuencia para productos líquidos, con la creencia de que este material provoca

que el producto se conserve higiénico e inocuo por mayor tiempo, este es un factor para las empresas productoras de esta gama de productos. En estos se empacan salsas, mayores, quesos, jaleas, medicamentos, bebidas y salsas.

1.1.5. Industria de empaques flexibles

Los empaques flexibles pueden ser elaboradas de diferentes materiales: polietileno, polipropileno y poliéster. Estos se caracterizan por ser livianos y flexibles y dependiendo del material del cual están elaborados; será su finalidad porque cada uno cuenta con diferentes características, las cuales son utilizadas estratégicamente según los requerimientos de empaques de los clientes.

Los plásticos son sustancias de origen orgánico, formados por largas cadenas macromoleculares con carbono e hidrógeno; se caracterizan por ser capaces de ser moldeados y por ser aislantes de la electricidad y el calor.

Pueden reprocesarse las veces que se quieran y combinarse con otros materiales para mejorar sus propiedades naturales; a pesar de esto, los plásticos cuentan con la desventaja de que en este reproceso se pierdan ciertas propiedades directamente proporcionales al número de veces de reutilización por lo que necesitarán utilizarse otros materiales que sustituyan estas propiedades en el producto final.

Los empaques flexibles, en general, cuentan con varias ventajas y desventajas que se desglosan a continuación:

Tabla VI. **Cuadro comparativo de empaques flexibles**

Ventajas	Desventajas
Versatilidad para producir diferentes diseños y tamaños, adecuándose al producto a empaçar	Tiempo de vida corto, en comparación con los demás materiales
Cuentan con barrera a la luz y a los rayos UV, evitando la oxidación del producto	Poca resistencia al punzonamiento, por lo que se perfora fácilmente
Son herméticos, flexibles y extremadamente livianos	Inflamabilidad
Impermeables al agua, gases y vapores	Pierde sus propiedades mecánicas con el transcurso del tiempo
No altera el sabor ni aroma de los productos contenidos	
Se pueden reciclar y reutilizar	
Es económico	
Facilidad de imprimir	

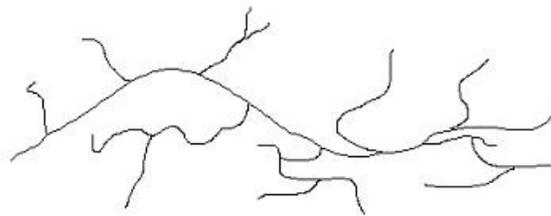
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los materiales más comúnmente utilizados para la elaboración de empaques flexibles se desglosan a continuación con sus características principales:

- PE: es un polímero sintético termoplástico blanquecino, obteniendo de la polimerización de olefinas o hidrocarburos etilénicos; con fórmula fundamental $[C_2H_2]_n$, la n indica el número de moléculas individuales que se unen unas a otras para formar una cadena molecular y se le denomina grado de polimerización. Existen dos tipos de polietileno:
- LDPE: tiene una estructura ramificada y parcialmente cristalina; es un material muy versátil, se adapta a diferentes tipos de procesos de

extrusión; brinda características como transparencia, resistencia al impacto, flexibilidad, sellabilidad y principalmente su bajo costo, sin embargo, la fuerza de tracción, también llamada tensión, es menor que el de alta densidad por su estructura.

Figura 5. **Molécula ramificada de LDPE**



Una molécula de polietileno ramificado (LDPE)

Fuente: Tecnología de los plásticos. <https://www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>.

Consulta: 23 de septiembre de 2019.

- El polietileno de baja densidad es el material que más se utiliza para la elaboración de empaques flexibles ya que este cuenta con buenas propiedades mecánicas y es económico. Este puede mejorar aún más sus propiedades mecánicas a través de la copolimerización, obteniendo como resultado LLDPE o polietileno lineal buteno, polietileno lineal hexeno, polietileno lineal octeno, metalloceno o polietileno lineal fraccional.
- LLDPE: posee mayor resistencia a la tensión, resistencia al impacto, fuerza de rasgado y mayor elongación que el polietileno de baja densidad, mientras que este otro posee mayor claridad, brillo y mejores propiedades de sellado que el lineal de baja densidad. Estos dos materiales comúnmente suelen ser mezclados para optimizar los beneficios obtenidos de ambos materiales.

- HDPE: este tiene una estructura lineal, con cadenas moleculares largas con pequeñas ramificaciones con aspecto opaco, cuenta con buena propiedad de barrera a la humedad, mientras que, por otro lado, posee una pobre barrera al oxígeno, siendo el segundo de mayor uso en la industria de empaques flexibles.

Figura 6. **Molécula ramificada de HDPE**



Fuente: Tecnología de los plásticos. <https://www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>.

Consulta: 23 de septiembre de 2019.

- Polipropileno: la película de polipropileno también llamada BOPP por ser bi orientada, es traslúcida, resistente al impacto y tiene alta rigidez y dureza, con esta se elaboran una gran gama de productos alimenticios como frituras y golosinas.
- Poliéster: el poliéster o también abreviado PET es un material utilizado por su alta barrera y resistencia al impacto, este comúnmente se utiliza para laminado con otros materiales e imprimir debido a su alta transparencia.
- Etilen-vinil-alcohol: el etilen-vinil-alcohol o también abreviado EVOH es un material que se utiliza por el mejor como barrera al oxígeno, gases, olores y es resistente a aceites y solventes orgánicos. Este es utilizado

comúnmente en productos laminados donde se ubica en la capa interna siendo de una estructura multi-capa que tiene como capas externas materiales de polietileno de baja densidad o polipropileno que brindan barrera a la humedad protegiendo al EVOH de esta.

Los empaques flexibles en la actualidad son productos que se encuentran incursionando en el mercado de los empaques por ser innovadores ya que se acoplan a las necesidades de los consumidores y son más económicos que los otros materiales.

1.2. Organización convertidora de plásticos

Una organización convertidora de plásticos es aquella dedicada a la transformación de los polímeros, esta puede ser a través de un proceso de extrusión por inyección que transforma el plástico a envases rígidos o de empaques flexibles a través de un proceso de extrusión por soplado.

La organización de la cual se está tratando, se encuentra enfocada en la elaboración de empaques y material flexibles, para la producción de los mismos se cuenta con un proceso de conversión, el cual se describirá a continuación; inicia con la solicitud del producto por parte del cliente al departamento de ventas, de esto los vendedores pasan la solicitud al área de ingeniería de proceso para que esté elabore la orden de trabajo y asigne todas las fases del proceso por las cuales pasará el material hasta obtener el producto terminado.

Después dependiendo del producto solicitado, puede pasar por el proceso de extrusión si se requiere una película plástica sin impresión, si se requiere una película con impresión, el producto debe transportarse por el área de extrusión e impresión y si lo que se requiere es un producto impreso y laminado, si es película

de polietileno, esta debe pasar por extrusión, impresión y laminación, de lo contrario si debe ser de polipropileno o poliéster, este únicamente pasa por impresión y laminación.

Para el proceso de impresión existen dos técnicas para los sustratos plásticos que se trabajen, estos son el del de roto grabado que es un sistema de impresión también conocido como huecograbado, en este sistema las imágenes se transfieren al sustrato por medio de un cilindro de cobre sobre el cual se graba la imagen y la técnica de flexografía que permite imprimir de forma rápida a través de planchas flexibles, ya que sus tintas secan de manera rápida y estas son bastantes adaptables.

La técnica utilizada en la organización es la flexografía, debido a sus ventajas de menor costo y mayor flexibilidad de trabajo sobre el roto grabado.

Luego de pasar por el proceso de producción, el producto debe pasar por el proceso de corte, únicamente si lo solicitado en el pedido son bolsas y bolseo donde se les coloca un empaque secundario a cierta cantidad de bolsas o lienzos, para después almacenarlo en la bodega de producto terminado, hasta que este se deba enviar al cliente.

1.2.1. Procesos administrativos

Los procesos administrativos son todos aquellos de respaldo a la producción, de servicio al cliente como ventas.

1.2.2. Procesos productivos

Los procesos productivos los integran todos aquellos procesos que tienen contacto directo con la transformación de la materia prima para la obtención del producto final.

1.2.2.1. Extrusión

Proceso por el cual se alimenta una extrusora con polímeros en forma sólida o comúnmente conocida como resina y se obtiene al finalizar el mismo, película plástica.

Las máquinas extrusoras funcionan de forma que, se alimenta de resina una tolva, la cual la hace pasar hacia un tornillo sin fin el cual se encarga de transportar la resina a través del largo del mismo, con cierto perfil de temperatura, el que puede variar dependiendo del material que se esté introduciendo; para luego mezclar la resina uniformemente, realizando el proceso de calentado y derretimiento de la misma para así convertirla de un estado sólido a un fluido.

En la elaboración de empaques flexibles se utiliza el método de extrusión por soplado, por lo que luego de convertir la resina en fluido homogéneo, este plástico fundido pasa a través de un dado con perfil circular donde a través de la aplicación de aire en la zona de anillo de enfriamiento se le da la forma tubular al material, el cual se eleva y se encuentra atravesando la zona de la cesta, que su propósito es el estabilizar la burbuja para que el tubo de película de polietileno mantenga su espesor y ancho deseados.

Se eleva la burbuja, la cual es dirigida hacia arriba donde se encuentra una persiana, que la convierte en un lienzo para luego pasar por la zona de tiro donde es distribuido el material para que descienda a través de los rodillos de

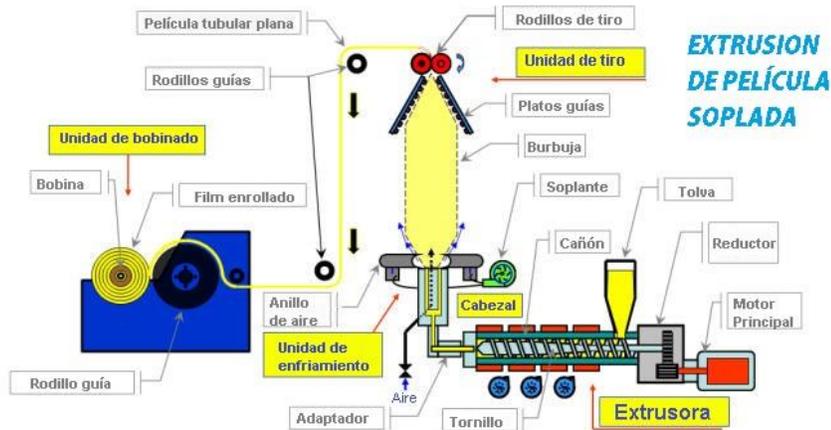
tiro, después de esto la película atraviesa la zona de tratado, donde se le aplica tratado corona a la misma, para que por último se transporte a la zona de bobinador donde son refilados los dos extremos del tubo de película plástica y embobinada la película.

El proceso anteriormente mencionado aplica únicamente para productos fabricados con materia prima de polietileno o mezclas que contengan este, ya que para polipropileno se utilizan máquinas extrusoras lineales de forma horizontal siendo el proceso también llamado Extrusión de lámina y película en dado plano.

Una máquina extrusora está compuesta de distintas partes las cuales son de vital importancia para su buen funcionamiento y por lo tanto la obtención de película plástica, las cuales se enumeran a continuación:

- Tolva
- Tornillo
- Cabezal
- Anillo de enfriamiento
- Canasta
- Halador
- Tratador
- Bobinador

Figura 7. Partes de una extrusora



Fuente: Tecnología de los plásticos. <https://www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>.

Consulta: 23 de septiembre de 2019

La organización dentro del proceso de extrusión se encarga de elaborar películas plásticas específicamente de polietileno, cuentan con tres sectores de producción; industrial, comercial y agrícola en los cuales cuentan con máquinas extrusoras con capacidades de producción en kilogramos desde 25 kg/h y en las máquinas industriales hasta de 500 kg/h, a pesar de tener una capacidad muy diferente, el mecanismo de funcionamiento para cualquier máquina extrusora, es el mismo.

Al producto terminado de una extrusora se le llama bobina, esta es un rollo de material de cierta longitud en metros y un peso definido.

Figura 8. **Bobina**



Fuente: *Poliexcel*. Película plana de polietileno. <https://www.Poliexcel.com>. Consulta: 23 de septiembre de 2019

1.2.2.2. Flexografía

Proceso de impresión directo en la que se imprime en polietileno, polipropileno y poliéster a través de la utilización de planchas flexibles grabadas en relieve para la obtención de empaques flexibles impresos.

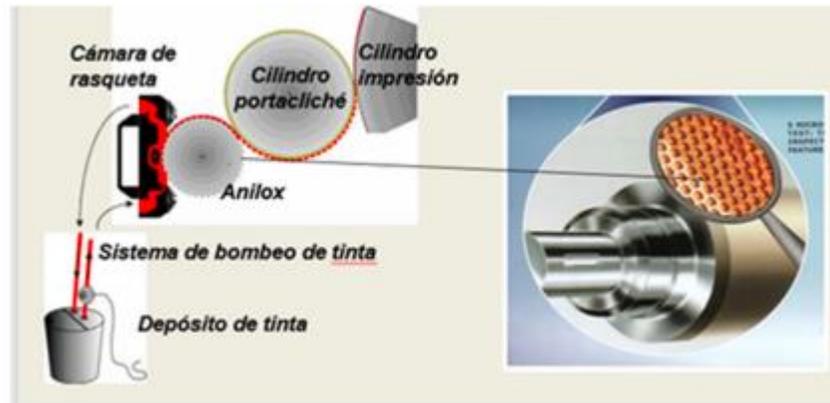
Para que el proceso de flexografía pueda llevarse a cabo correctamente el tipo de material a imprimir debe contar con un pre tratamiento, que en el caso del polietileno y polipropileno debe ser un tratamiento corona, el que consiste en una descarga eléctrica o ionización por choque en la superficie de la película, las partículas al chocar oxidan la superficie y generan el anclaje para aplicación de las tintas. A diferencia de los anteriores, para el poliéster puede aplicársele tratamiento corona y tratamiento químico.

La organización cuenta con impresoras de 3, 6 y 8 colores, siendo la mayoría de impresoras de tambor central de última tecnología, éstas son máquinas rotativas que trabajan con bobinas en continuo y tintas líquidas de secado rápido donde la plancha se engancha mediante adhesivo de doble cara a un cilindro llamado camisa porta cliché. Esta plancha recibe la tinta mediante un rodillo o cilindro especial llamado anilox el cual está formado con múltiples celdas que se encargan de transportar la tinta hacia la plancha y está por contacto descarga la tinta al material a imprimir.

El cuerpo de impresión está formado por camisa, porta planchas, anilox y cámara cerrada.

- Anilox: dosifica la cantidad de tinta a transferir a la plancha y por lo tanto a imprimir.
- Camisa por clichés: transfieren al material las características del diseño de ese color.
- Cámara cerrada: transfiere la tinta al cilindro, también llamado cilindro entintador.

Figura 9. Esquema de impresión



Fuente: Mejora en el estándar del indicador peso de aplicación en alico. Universidad de Antioquia. http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15658/1/DominguezNikka_2019_MejoraEstandarIndicador.pdf. Consultado: 30 de noviembre de 2021.

1.2.2.3. Laminación

Un laminado es un material que se construye mediante la unión de dos o más capas de material juntos. El proceso de creación de un laminado es la laminación, que se refiere en general a colocar algo entre las capas de plástico y uniéndolo con calor y / o presión, por lo general con un adhesivo. Los materiales utilizados en los laminados pueden ser el mismo o diferentes. Un ejemplo de la laminación utilizando diferentes materiales sería la aplicación de una capa de película de plástico - la "laminada" - A cada lado de una hoja de vidrio - el sustrato laminado. Los parabrisas de los vehículos se hacen comúnmente mediante la laminación de una película de plástico duro entre dos capas de vidrio.

La manufactura de películas laminadas es, relativamente, un proceso continuo de recubrimiento y unión de estas. Posteriormente se muestran ilustraciones genéricas de líneas de producción típicas de laminados flexibles; los

procesos específicos difieren principalmente de cómo el adhesivo es aplicado y convertido de un líquido a un sólido.

1.2.2.4. Máquinas convertidoras

El área de balseo o también llamada de empaque consiste en el final del proceso para la planta convertidora de plásticos, esta cuenta con máquinas cortadoras para toda la gama de films y bolsas, estas incorporan la mayor tecnología en corte y sellado, que, junto a la precisión de los operarios, garantizan la calidad en las dimensiones del material.

El corte y sellado se realizan en una misma máquina, la cual cuenta con unos rodillos que sostienen la bobina de película de polietileno y se desenrolla, mientras que esta se transporta a través de la máquina, una cuchilla larga se encarga de hacer el corte para que después de esto con una herramienta de sellado que tiene forma de filete se le aplica altas temperaturas a la película plástica. La temperatura a la que se encuentra el filamento se determina en función del tipo y calibre de película utilizada. Después de esto puede troquelarse para convertirla en bolsa gabacha si fuera requerido.

Las bolsas producidas varían según el tipo de sellado aplicado a las mismas, los cuales pueden ser de estrella, de fondo, lateral y de gabacha. Para comprender mejor los tipos de sellos, se definen a continuación:

- Sello de fondo: la bolsa está compuesta por la misma película y está sellada en el fondo.
- Sello lateral: consiste en sellar la bolsa en los lados, dejando el fondo unido conforme salió de la bobina.

- Sello de estrella: consiste en doblar la bolsa varias veces para posteriormente sellarla, la ventaja de este sello es que dispersa el peso del contenido sobre el material y no sobre el sello.
- Gabacha: después del proceso de sellado general pasa por una troqueladora, que prensa y corta una sección de la bolsa, la cual al retirarla le brinda la forma de gabacha y las agarraderas distintivas de estas bolsas.

El proceso de corte puede ser un proceso manual o semiautomático los cuales se describen a continuación:

Para el proceso manual de bolseo se cuenta con un área localizada al final de la máquina de corte donde el operador coloca y reúne una cantidad o peso en Kg de bolsas y las empaca; con el proceso semiautomático se cuenta con un tipo de máquina un contador que indica el número de bolsas que se han producido; el operario está atento para reunir la cantidad necesaria; para, luego, empacar sin parar la máquina y posteriormente trasladarlas a la bodega de producto terminado.

La mayor cantidad de producto obtenido en esta área se destina al sector agrícola y comercial definido por la organización.

1.3. Clasificación de las películas flexibles

Las películas flexibles tienen una gran variedad por lo que se van a describir algunos tipos de estos a continuación:

1.3.1. Antecedentes históricos de las películas flexibles

No tenemos una definición precisa de lo que es un empaque flexible, quizá sea necesario hacer un poco de historia para ubicar estos materiales. Desde luego, es fácil entender lo que son los empaques rígidos como botes, botellas, cajas de cartón y madera tradicional o estos mismos, pero de plástico.

Por otro lado, un material puede pasar de ser rígido a ser flexible con la disminución de su espesor, como el aluminio o el plástico. En el caso de los plásticos, es considerada como película un material de hasta diez milésimas de pulgada de espesor y como placa si éste es mayor, flexible en el primer caso y rígida en el segundo, sin embargo, existen materiales que son de naturaleza rígida que, al convertirlos a película, es necesario agregarles plastificantes; lo que sí sabemos, es que todos los materiales flexibles a que se refiere nuestro estudio, se pueden enrollar en los equipos convertidores.

Cuando a una película se le acopla otra mediante un adhesivo o simplemente se le aplica un recubrimiento, cera o asfalto para mencionar los más familiares, se modifica su permeabilidad y su resistencia química; el conocimiento de estas propiedades permite el diseño de combinaciones o estructuras que darán la protección que el producto precisa, durante el tiempo que nosotros determinemos, ya sea contra los gases que emanan del ambiente al producto a través de la envoltura o del producto hacia el ambiente.

La luz, sin ser considerada dentro de los agentes mencionados, también debe ser tomada en cuenta, su mayor o menor contenido de radiación UV, puede por ejemplo catalizar la oxidación de las grasas y dar por resultado lo que se conoce como rancidez, lo mismo sucede con los aceites esenciales que producen los aromas.

El futuro de los empaques flexibles es prometedor porque queda mucho por hacer con los nuevos materiales, los nuevos procesos de fabricación, el costo que debe añadirse al producto, el impacto ambiental y la creatividad. El uso adecuado de esta tecnología, les permite competir contra sus similares de cartón, vidrio, metal y plástico.

El estudioso encontrará que la información está dispersa en libros, revistas, ciclos de conferencias y que tiene que ver con casi todas las disciplinas científicas: química, física, ingeniería mecánica, entre otras. Hay en el mercado disponibles para los propósitos del estudio, una infinidad de materiales flexibles, sin embargo, a lo sumo hay en uso normal unos diez o quince, algunos aunque hay en español algunos términos acrónimos, que se usan en algunas publicaciones, no podemos dejar de reconocer que los que provienen del inglés tienen validez internacional, tomemos como ejemplo el cloruro de polivinilo que debiéramos simbolizar por CPV, sin embargo, es tan común hablar del PVC que tenemos que aceptarlo en la familia.

Las razones por las cuales es limitado el uso cotidiano de las películas que ofrece el mercado son que con la combinación o laminación de dos o tres de ellas se tiene protección suficiente para mantener la vida de anaquel del producto, y el costo del empaque, que tiene que agregarse al producto, debe ser razonable.

Los empaques flexibles se pueden clasificar en tres grandes grupos, los cuales se describen a continuación:

1.3.1.1. Empaque primario

Es aquel envoltorio que está en contacto directo con el producto. Un tipo de empaque primario serían los envases PET, plásticos, botellas y bolsas plásticas.

1.3.1.2. Envoltura

Son hojas de material flexible que cubren un producto dado; este producto puede ser caramelo, galletas, salchichas, entre otros.

1.3.1.3. Bolsas preformadas

Son bolsas con un lado abierto para que el usuario pueda llenarla y posteriormente, sellarla con calor o adhesivo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de agua helada

El diseño de los sistemas de agua helada depende de la habilidad del diseñador para evaluar las cargas del espacio, los patrones de ocupación y requerimientos del ambiente. Los sistemas que llevan el calor desde o hacia un espacio acondicionado más comúnmente son llamados sistemas con agua helada o caliente, sistemas hidráulicos o no hidráulicos.

Su clasificación parte de la temperatura de operación, la que es como sigue:

- Sistemas de baja temperatura LTW: su máxima presión de trabajo es de 160 psig, con una máxima de temperatura de 205 °F.
- Sistemas de media temperatura MTW: este sistema hidráulico de calentamiento opera a temperaturas entre 250 °F y 350 °F aproximadamente y la presión no excede los 160 psig.
- Sistemas de agua de alta temperatura HTW: este sistema puede operar por encima de los 350 °F y las presiones no exceden los 300 psig.
- Sistema de agua helada CHW: este sistema hidráulico de enfriamiento que normalmente puede operar a una temperatura de diseño de 40 °F a 45 °F, con un promedio de presión de 120 psig.

El sistema básico de agua helada consiste de las siguientes partes:

- El chiller que produce el agua helada.

- Las unidades terminales que son llamadas cargas, conformadas por serpentines, que transfieren el calor desde el aire del área a climatizar al agua que circula por los serpentines.
- Bombas y tuberías de distribución de agua que envían el agua helada a las unidades.
- Torres de enfriamiento que expulsan el calor para los chillers enfriados por agua.
- Controles que coordinan la operación de los componentes mecánicos en conjunto como un sistema.

2.2. Chiller, tipos de chillers y clasificación

Los tipos de *chillers* son muchos por los cuales a continuación se describen todos los tipos que existen.

2.2.1. Definición de *Chiller*

El chiller es una unidad de gran capacidad de enfriamiento aplicada especialmente al acondicionamiento del aire a una gran escala; el sistema mantiene el principio de la refrigeración y funciona en conjunto con otros equipos para hacer que circule el medio refrigerante hacia cada uno de los elementos a enfriar.

Hay una variedad de chillers; estos se clasifican por la forma de su ciclo de refrigeración absorción y compresión de vapor, por su forma de compresión y por su medio enfriante.

2.2.2. Clasificación de las unidades chillers por su modo de compresión y su modo de enfriamiento

Para tener una perspectiva más clara de la variedad de chillers que existen a continuación se clasifican de dos formas por su compresión y enfriamiento.

- Chiller de compresión por *scroll*.
 - De tipo scroll enfriado por aire.
 - De tipo scroll enfriado por condensador remoto.
 - De tipo scroll enfriado por agua.
- Chiller de compresor rotativo o de tornillo. *Screw*
 - De tipo tornillo enfriado por aire.
 - De tipo tornillo enfriado por condensador remoto.
 - De tipo tornillo enfriado por agua.
- Chiller de compresor recíprocante o Alternativo
 - De tipo recíprocante enfriado por aire.
 - De tipo recíprocante enfriado por condensador remoto.
 - De tipo recíprocante enfriado por agua.
- Chiller de compresor centrífugo.
 - De tipo centrífugos enfriados por aire.
 - De tipo centrífugos enfriados por condensador remoto.
 - De tipo centrífugos enfriados por agua.

Además de estos tipos de chillers están los chillers de absorción. Existen dos calidades básicas de chillers usadas en sistemas HVAC; el chiller por compresión de vapor y el chiller por ciclo de absorción.

El chiller por compresión de vapor, usa un líquido especial llamado refrigerante que circula entre los lados de alta presión y una de baja presión de un ciclo de enfriamiento. El calor puede ser absorbido en el lado de baja presión

y expulsado por el lado de alta presión. Un compresor es usado para mover el fluido entre los dos lados y mantener el diferencial de presión. El *chiller* de absorción reemplazará el compresor por una pequeña bomba y entonces usa el calor para poder dirigir el ciclo de refrigeración. Los refrigerantes que son utilizados en los ciclos de absorción son muy diferentes a aquellos que son utilizados en ciclos por compresión de vapor.

Los más utilizados en la actualidad son de compresión de vapor, los cuales los compresores pueden ser rotativos, centrífugos, reciprocantes y scroll. Los *chillers* pueden ser de ambos modos, los enfriados por aire o por agua. Los *chillers* de grandes dimensiones por compresión de vapor incluyen componentes como el evaporador, compresor o compresores, un condensador y un dispositivo de expansión.

2.3. **Chillers enfriados por agua vs. los enfriados por aire**

Todos los *chillers* enfrían agua; lo que cambia, es como el *chiller* se deshace del calor del agua de manera que los *chillers* se pueden clasificar por su modo de enfriamiento.

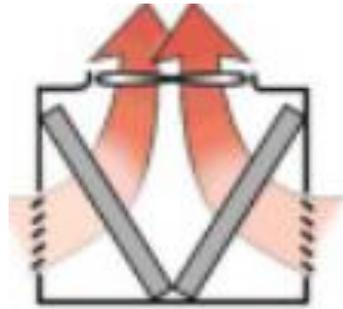
Enfriado por aire:

Figura 10. **Chiller enfriado por aire**



Fuente: *Chillers* enfriados por aire. *Carrier*. <https://www.carrier.com.mex>. Consulta: 8 de octubre de 2019.

Figura 11. **Eliminación de calor**



Fuente: Evaluación energética de sistema frigoríficos chillers. <https://www.ribuni.uni.edu.ni>.
Consulta: 8 de octubre de 2019.

Enfriado por agua:

Figura 12. **Chiller enfriado por agua**



Fuente: *Chiller* enfriado por agua. Carrier. <https://www.carrier.com.ec>. Consulta: 8 de octubre de 2019.

El *chiller* enfriado por aire es un solo módulo en el que está integrado el evaporador, accesorios, bomba de condensado y el condensador enfriado por la

corriente de aire que ingresa por una periferia entre el condensador y luego se expulsa este calor por un tiro vertical en los ventiladores de *chiller*. El *chiller* enfriado por agua utiliza una torre de enfriamiento para la eliminación del calor, esta agua se transporta hacia la torre de enfriamiento y retorna al condensador para hacer el intercambio de calor.

Las diferencias entre estos dos sistemas de enfriamiento son: el *chiller* enfriado por agua posee una mayor capacidad de enfriamiento que está dada por la tasa de transferencia de calor del agua y por lo tanto es más recomendable en grandes edificaciones. En cambio, el *chiller* enfriado por aire tiene menos capacidad debido a la menor tasa de transferencia de calor, pero tiene la ventaja que este tipo de *chiller* tiene menos mantenimiento ya que no le afecta las incrustaciones de agua que se produce en los tubos de los intercambiadores de calor del *chiller* enfriado por agua.

Una diferencia clara entre estos dos equipos es el precio, los *chillers* enfriados por aire son menos costosos que los enfriados por agua, uno de los factores es que el *chiller* enfriado por aire no necesita torres de enfriamiento, bombas de condensado, ni otros componentes asociados a los sistemas de aire acondicionados.

Otra diferencia entre estos dos sistemas es que el *chiller* enfriado por agua tiene mejores propiedades de transferencia del calor del agua en comparación con los *chiller* enfriados por aire. La principal ventaja del agua es que el coeficiente de convección h es entre 10 y 100 veces mejor en el agua que en el aire. El coeficiente de convección o también conocido como coeficiente de película controla la transferencia de calor con un área dada constante y una diferencia en la temperatura.

Una última diferencia entre chiller enfriado por agua y chiller enfriado por aire que debemos destacar es el costo del sistema completo, tanto tenerlo en marcha como instalarlo tiene que calcularse. El tamaño de la unidad de aire acondicionado importa cuando se va a elegir entre un *chiller* enfriado por agua y no enfriado por aire. Normalmente las unidades más pequeñas suelen ser enfriadas por aire y las más grandes suelen ser enfriadas por agua.

2.4. Componentes de un sistema de agua helada

Lo componentes básicos de un sistema de enfriamiento por agua son:

- Condensador
- Compresor
- Evaporador
- Torre de enfriamiento en el caso del condensador enfriado por agua
- Terminales
- Tuberías
- Controles

2.5. Condensador del *chiller*

El condensador tiene como función principal expulsar el calor que ha sido ganado por el sistema a través del evaporador y este puede ser enfriado por agua o por aire.

Cuando el condensador del chiller es enfriado por agua, utiliza una torre de enfriamiento a la que se conecta por medio de tuberías e impulsa el agua caliente con una pequeña bomba que se llama bomba de condensado. Cuando el *chiller*

es enfriado por aire la forma de deshacerse del calor es por un tiro forzado mediante aspas accionadas por motores eléctricos.

Generalmente el condensador debe ser 30 % más grande que el evaporador. Para poder condensar debe existir por lo menos 10 °F de diferencial de temperatura entre el vapor refrigerante y el medio de enfriamiento.

2.5.1. Condensador enfriado por aire

Los condensadores enfriados por aire generalmente utilizan ventiladores para el aumento de la velocidad del aire, por lo tanto, se reduce la superficie del tubo. Por afuera es muy parecido a un condensador de equipos pequeños de expansión directa. El compresor cuando se instala cerca del condensador toma el aire en el lado contrario de este para evitar tomar aire caliente.

2.5.2. Condensador enfriado por agua

Condensador enfriado por agua es aquel que usa el agua como medio para condensar y deshacerse del calor del refrigerante gas y condensarlo a líquido. Esta agua circula a través de un subcircuito que enlaza el condensador y la torre de enfriamiento. Esta agua en ningún momento está en contacto con el agua que circula en las tuberías de servicio de los ambientes.

En el interior del condensador hay tuberías dispuestas de manera que el medio a enfriar este en contacto directo con el medio de condensación “agua o aire”, de manera que se dé la transferencia de calor entre ellos.

2.5.3. Compresor del *chiller*

El compresor es la bomba que dirige el refrigerante a través del ciclo y mantiene el diferencial de presión, también incrementa la temperatura y la presión del refrigerante para que el calor luego pueda ser expulsado.

Generalmente el compresor utilizado tiene un gran impacto en la eficiencia y la seguridad de un *chiller* por compresión de vapor. El mejoramiento en el diseño de los compresores y el desarrollo de nuevas tecnologías de compresores conllevan a una mayor eficiencia y seguridad en los enfriadores de agua. El compresor es el elemento más importante del ciclo de refrigeración, en algunos casos es llamado el corazón del sistema de enfriamiento.

Los compresores con los que trabajan los *chillers* por compresión de vapor funcionan como los compresores comunes de expansión directa, pero con una mayor capacidad de compresión para alcanzar una mayor capacidad de enfriamiento.

2.5.4. Evaporador del *chiller*

El objetivo principal de los evaporadores es absorber el calor de los sistemas. El medio que se desea enfriar puede ser un gas, líquido o sólido. El aire y el agua son las dos sustancias que comúnmente se enfrían con los evaporadores.

Los evaporadores más comunes el refrigerante fluye por los tubos, mientras el aire o el agua que se desea enfriar fluyen por el exterior del mismo. Estos tubos son construidos en forma de serpentines, conforman la superficie de transferencia de calor.

2.5.5. Torre de enfriamiento

Una torre de enfriamiento es un equipo que transfiere calor y masa entre el aire atmosférico y el agua caliente procedente de los procesos industriales. Su finalidad primordial es enfriar agua caliente por medio del intercambiador de calor y la masa entre la corriente de agua y una corriente de aire. La eficiencia de una torre de enfriamiento depende directamente de la velocidad del flujo de agua, temperatura del agua y la temperatura del bulbo húmedo del ambiente.

Figura 13. Torre de enfriamiento



Fuente: Torre de enfriamiento. *Industrial Mexicana*. <https://www.industrialmexicana.com>.

Consulta: 14 de octubre de 2019.

- Funcionamiento: el aire entra por la torre, por el fondo y sale por la parte superior, el agua caliente se bombea hacia la parte superior de la torre y se rocía en esta corriente de aire, uno de los propósitos del rociador es exponer una gran área superficial de agua al aire. Cuando las gotas de agua caen bajo influencia de la gravedad, una pequeña fracción de agua

se evapora y enfría el agua restante. La temperatura y el contenido de humedad del aire aumentan durante el proceso. El agua enfriada se acumula en el fondo de la torre y es reutilizada en un proceso, el agua de reemplazo debe añadirse al ciclo para sustituir el agua pérdida por la evaporación y por el arrastre del agua.

2.5.6. Sistema de distribución de agua fría

Es la combinación de bombas, tuberías, válvulas y otros accesorios. El sistema de agua a veces es llamado “central del lado de agua” o “sistema de acondicionamiento”.

2.6. Bombas de agua helada

Otros elementos importantes en el funcionamiento del sistema de agua helada son las bombas de agua helada cuya función es hacer circular el agua.

En general las bombas deben vencer las pérdidas de presión causadas por las tuberías, serpentines de unidades terminales, el *chiller* y el diferencial de presión a través de un sistema de válvulas de control abierto. La bomba, mientras está trabajando en un sistema con presión estática, no necesita superar esta presión estática. Por ejemplo, en un edificio de cuarenta pisos la bomba no necesita vencer la presión estática debido a estos cuarenta pisos si no a la distancia en pies de la tubería y la distancia equivalente de cada accesorio.

La bomba debe estar situada a contracorriente desde el *chiller*, no obstante, puede estar dondequiera en el sistema.

- Resuelva los requerimientos de succión neta positiva de la succión de la red de la bomba. Es decir, la presión de sistema de la entrada de bomba deber ser positiva y bastante alta como para permitir que la bomba funciones correctamente.
- Mantenga una mínima presión dinámica principal en los componentes críticos del sistema.
- Acomodar la presión total presión estática más la presión dinámica en componentes del sistema tales como el evaporador del *chiller*, válvulas, entre otros. Obsérvese que el calor de la bomba está agregado al agua y debe ser absorbido y disipado por el *chiller*.

2.6.1. Bombas centrífugas

Una bomba centrífuga también se denomina bomba rotodinámica, esta máquina es actualmente la más utiliza para bombear todo tipo de líquido. Las bombas centrífugas por lo general siempre son rotativas y son de tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incomprensible.

- Funcionamiento: el fluido entra por el centro del rodete o impulsor, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor.
- Las bombas centrífugas se pueden clasificar de diferentes maneras:

- Por la dirección del flujo: radial, axial y mixto.
- Por la posición del eje de rotación o flecha: horizontal, vertical e inclinados.
- Por el diseño de la coraza: voluta y las de turbina.
- Por el diseño mecánico: axialmente bipartidas y radialmente bipartidas.
- Por la forma de succión: sencilla y doble.

2.6.2. Componentes de una bomba centrífuga

- Inductor: conocida también como estator, es la parte fija que compone al motor, el cual está conformada por la armazón de acero que protege el núcleo magnético del inductor.
- Entrehierro: se trata del espacio del aire que crea una separación entre el rotor y el estator.
- Carcasa: parte que protege a todos los elementos mecánicos internos que permiten el accionar de la bomba.
- Cojinete: parte que llega a ser el soporte y a la vez la guía del eje de la bomba.
- Rotor: se refiere a la parte móvil de la bomba, en donde se encuentran diversas barras conductoras en sus extremos.
- Rodete o impulsor: parte compuesta por un grupo de álabes que se encargan del bombeo del fluido a través de sus constantes giros accionados por el motor.

- Difusor: es parte en combinación con el rodete se encuentra dentro de la carcasa.

Figura 14. **Bomba centrífuga**



Fuente: ¿Qué es una bomba centrífuga? *Fluid Engineering Company*. <https://fluideco.com/que-es-una-bomba-centrifuga/>. Consulta: 8 de junio de 2022.

2.6.3. Bombas primarias y secundarias

Según su ubicación en el sistema, a las bombas se les puede llamar primarias o secundarias. Las bombas primarias están siempre dispuestas de tal manera que puedan vencer la fricción del *chiller* como tal y por eso están ubicadas en el circuito de retorno, en cambio las bombas secundarias siempre estarán en el inicio del circuito de suministro con la finalidad de vencer la fricción de todos los componentes de dicho circuito.

En los sistemas de agua helada, está inmersa una gran variedad de materiales y accesorios que son necesarios para el buen funcionamiento de todo el sistema, y el requerimiento de todos estos varía conforme a las decisiones tanto del diseñador como del instalador.

2.7. Máquinas en la industria de plástico

En la industria de fabricación de plástico hay una gran variedad de máquinas que ayudan para que el proceso pueda llevarse a cabo, se mencionan las tres máquinas más importantes en la industria del plástico.

2.7.1. Extrusoras

En una definición amplia del proceso de extrusión hace referencia a cualquier operación de transformación en la que un material fundido es forzado a atravesar una boquilla para producir un artículo de sección transversal constante y en principio longitud indefinida. Además de los plásticos, muchos otros materiales se procesan mediante extrusión, como los metales, cerámicos o alimentos, obteniéndose productos muy variados como son marcos de ventanas de aluminio o PVC, tuberías, pastas alimenticias, entre otros. Desde el punto de vista de los plásticos, la extrusión es claramente uno de los procesos más importantes de transformación.

En el proceso de extrusión, por lo general, el polímero se alimenta en forma sólida y sale de la extrusora en estado fundido. En algunas ocasiones el polímero se puede alimentar fundido, procedente de un reactor. En este caso la extrusora actúa como una bomba, proporcionando la presión necesaria para hacer pasar el polímero a través de la boquilla.

Para el caso más corriente de la extrusión de un polímero inicialmente sólido que funde en el proceso, la extrusora, y en concreto una de husillo único, puede realizar seis funciones principales:

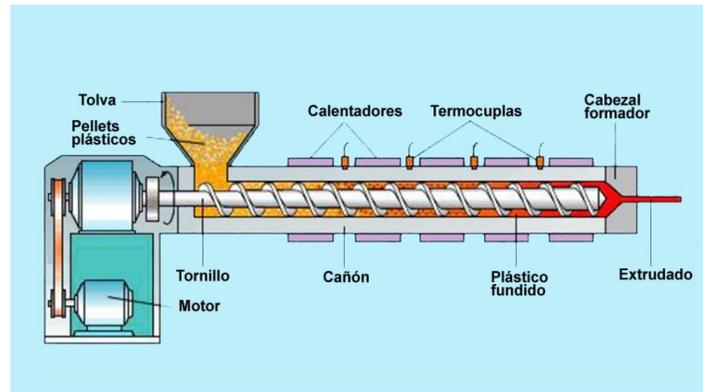
- Transporte del material sólido hacia la zona de fusión

- Fusión o plastificación del material
- Transporte o bombeo y presurizado del fundido
- Mezclado
- Desgasificado
- Conformado

Debe tomarse en cuenta que no todas las funciones anteriormente mencionadas tienen lugar necesariamente durante la operación de todas y cada una de las extrusoras. En muchas ocasiones el producto obtenido adquiere su forma final en un proceso secundario puesto que las extrusoras se emplean con frecuencia para mezclar los componentes de formulaciones que se procesarán posteriormente mediante otras técnicas o bien para obtener preformas que serán procesadas mediante soplado o termoconformado.

De acuerdo con las misiones que debe cumplir una extrusora debe disponer de un sistema de alimentación del material, un sistema de fusión plastificación del mismo, el sistema de bombeo y presurización, que habitualmente generará también un efecto de mezclado y finalmente, el dispositivo para dar lugar al conformado.

Figura 15. **Extrusora de husillo simple**



Fuente: *Tecnología de los plásticos*. <https://www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>.

Consulta: 23 de septiembre de 2019

Como puede apreciarse el sistema de alimentación más habitual es una tolva, en la que el material a procesar se alimenta en forma de polvo o granza. El dispositivo de fusión plastificación, bombeo y mezclado está constituido por un tornillo de Arquímedes que gira en el interior de un cilindro calentado, generalmente mediante resistencia eléctrica. En la parte del cilindro más alejada de la tolva de alimentación se acopla un cabezal cuya boquilla de salida tiene el diseño adecuado para que tenga lugar el conformado del producto. La parte esencial de la máquina es el sistema cilindro-tornillo que, como consecuencia del giro, compacta el alimento sólido, da lugar a la fusión del material y lo transporta hacia la boquilla de conformado, produciendo al mismo tiempo la presurización y el mezclado del material.

2.7.1.1. Partes de la extrusora

- Tornillo de extrusión

El tornillo o husillo consiste en un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal. El tornillo es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transportar, calentar, fundir y mezclar el material. La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtiene dependen en gran medida del diseño del tornillo. Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son: L , D , θ y W .

Figura 16. **Tornillo de extrusión**



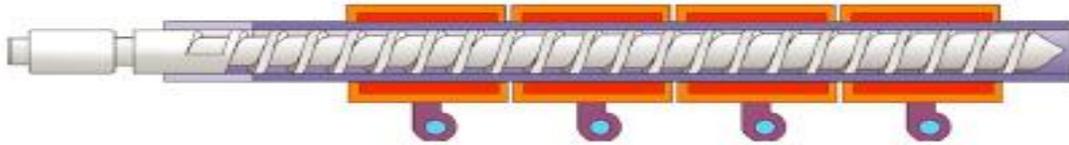
Fuente: Extrusión. Tema 4. <http://depa.fquim.unam.mx>. Consulta: 04 de noviembre de 2019.

El material se va presurizando a medida que avanza por el tornillo, comenzando con presión atmosférica en la tolva y aumentando hasta la salida por la boquilla. La sección de paso del tornillo no es constante, sino que es mayor en la zona de alimentación mayor profundidad de canal. Normalmente el tornillo no viene acompañado de ningún sistema de calentamiento o enfriamiento, aunque en algunos casos se emplean tornillos huecos por los que se hace circular un fluido refrigerante o calefactor.

- Cilindro

El cilindro de calefacción alberga en su interior al tornillo. La superficie del cilindro debe ser muy rugosa para aumentar las fuerzas de cizalla que soportará el material y permitir así que éste fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánica, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipado con un recubrimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la del tornillo, ya que éste es mucho más fácil de reemplazar.

Figura 17. **Cilindro**



Fuente: Extrusión. Tema 4. <http://depa.fquim.unam.mx>. Consulta: 04 de noviembre de 2019.

El cilindro por lo general posee sistemas de transferencia de calor. El calentamiento se puede realizar mediante resistencias eléctricas circulares localizadas en toda su longitud y también, aunque es menos usual, mediante radiación o encamisado con fluidos refrigerantes o calefactores. El cilindro suele dividirse en varias zonas de calefacción, al menos tres, con control independiente en cada una de ellas, lo que permite conseguir un gradiente de temperatura razonable desde la tolva hasta la boquilla.

El cilindro debe enfriarse si como consecuencia de la generación interna de calor originada por la cizalla a la que se somete al plástico se rebasa la

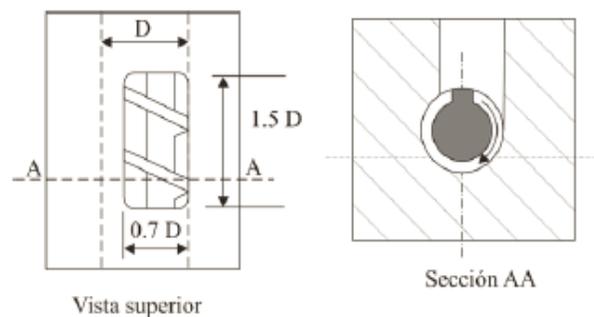
temperatura nominal del proceso lo que ocurre normalmente. El enfriamiento en la menor parte de las ocasiones se hace con líquidos, ya que, aunque tenga una mayor capacidad para eliminar calor que el aire, la temperatura es más difícil de controlarla.

- Garganta de alimentación

El cilindro puede estar construido en dos partes, la primera se sitúa debajo de la tolva y se denomina garganta de alimentación.

La garganta de alimentación está conectada con la tolva a través de la boquilla de entrada o de alimentación. Esta boquilla suele tener una longitud de 1.5 veces el diámetro del cilindro y una anchura de 0.7 veces el mismo, y suele estar desplazada del eje del tornillo para facilitar la caída del material de la máquina.

Figura 18. **Garganta de alimentación**

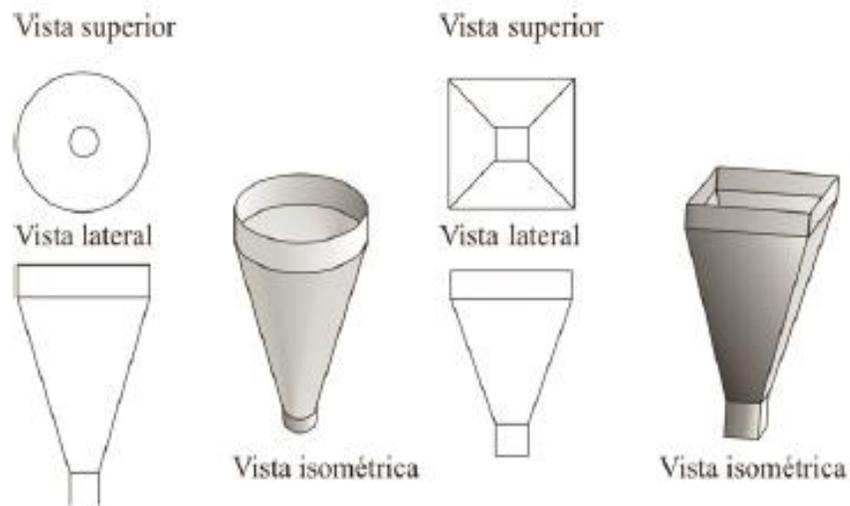


Fuente: Extrusión. Tema 4. <http://depa.fquim.unam.mx>. Consulta: 04 de noviembre de 2019.

- Tolva

La tolva es el contenedor que se utiliza para introducir el material en la máquina. Tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material. Esto se consigue más fácilmente con tolvas de sección circular, aunque son más caras y difíciles de construir que las de sección rectangular. Se diseñan con un volumen que permita albergar material para 2 horas de trabajo.

Figura 19. **Tolvas**



Fuente: Extrusión. Tema 4. <http://depa.fquim.unam.mx>. Consulta: 04 de noviembre de 2019.

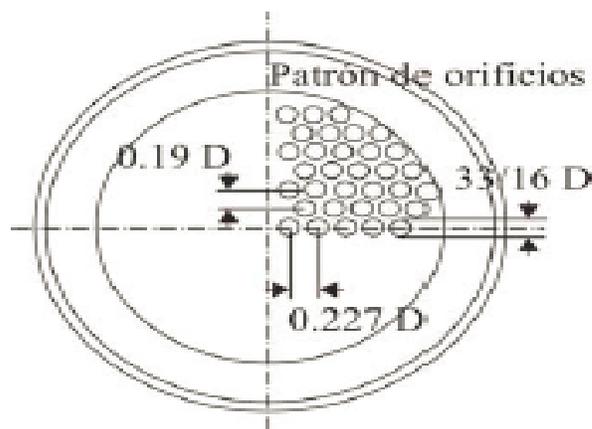
- Plato rompedor y filtros

El plato se encuentra al final del cilindro. Se trata de un disco delgado de metal con agujeros. El propósito del plato es servir de soporte a un paquete de

filtros cuyo fin principal es atrapar los contaminantes para que no salgan con el producto extruido.

Los filtros además mejoran el mezclado y homogenizan el fundido. Los filtros van apilados delante del plato rompedor, primero se sitúan los de malla más ancha, reduciéndose el tamaño de llama progresivamente, Detrás se sitúan un último filtro también de malla ancha y finalmente el plato rompedor que soporta los filtros.

Figura 20. **Plato rompedor y filtros**



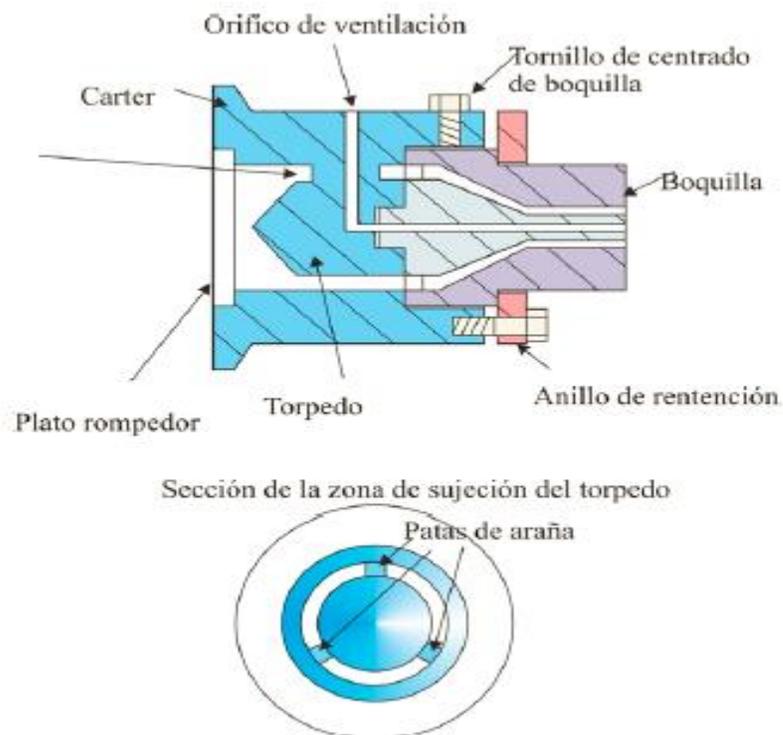
Fuente: Extrusión. Tema 4. <http://depa.fquim.unam.mx>. Consulta: 04 de noviembre de 2019.

- **Cabezal y boquilla**

El cabezal es la pieza situada al final del cilindro, que se encuentra sujetando la boquilla y por lo general manteniendo el plato rompedor. Generalmente va atornillado al cilindro. El perfil interno del cabezal debe facilitar lo más pronto posible el flujo del material hacia la boquilla.

La función de la boquilla es la del moldear el plástico. Las boquillas se pueden clasificar por la forma del producto, teniendo así boquillas anulares, para la fabricación de tuberías o recubrimientos de materiales cilíndricos, boquillas planas, boquillas circulares, entre otras.

Figura 21. **Cabezal y boquilla**



Fuente: Extrusión. Tema 4. <http://depa.fquim.unam.mx>. Consulta: 04 de noviembre de 2019.

2.7.1.2. Tipos de extrusoras

Los tipos de extrusoras son:

- De husillo sencillo

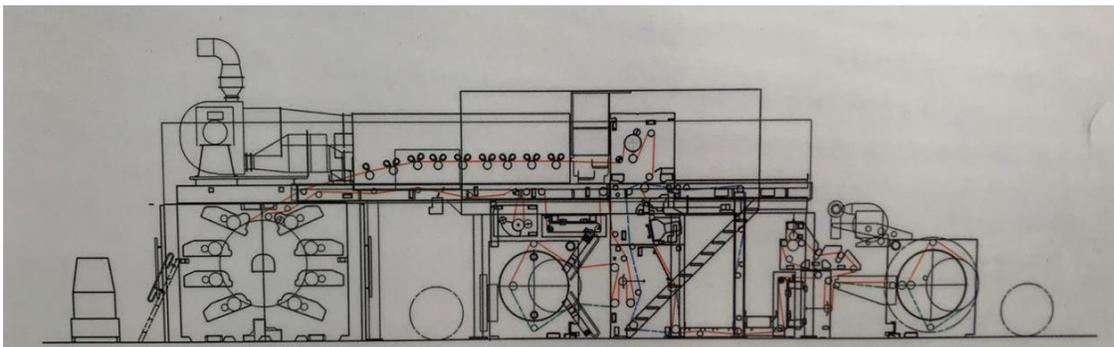
- De doble husillo
- Coextrusoras
- Extrusoras de películas
- Extrusoras de placas

2.7.2. Impresoras

El proceso de impresión también conocido como: proceso flexográfico, es un proceso de impresión que utiliza formas en relieve; La superficie imagen se eleva sobre el fondo. La forma impresora, además está invertida, es decir lo que aparece a la derecha saldrá impreso a la izquierda y viceversa.

Para imprimir, la forma impresora se entinta con tinta líquida mediante un rodillo especial llamado anilox. Luego se presiona suavemente sobre el soporte y solo la zona de imagen entra en contacto con él. Quedando depositada la tinta sobre el mismo.

Figura 22. Impresora



Fuente: Planta de producción, Amatitlan. Miraflex.

2.7.2.1. Partes de la impresora

Las máquinas flexográficas son rotativas compuestas principalmente por cinco secciones:

- Desbobinador: este situado al principio de la máquina. Sirve para colocar la bobina a imprimir. Los desbobinadores actuales son *non stop* de empalme sobre la marcha y están formados por un empalmador y un control de tensión.

Figura 23. Desbobinador



Fuente: Planta de producción, Amatitlan. Miraflex.

- Tintero: el tintero de flexografía convencional es sencillo: un recipiente de tinta, un rodillo inmerso y un rodillo entintador tipo anilox. El anilox es el elemento fundamental de entintado: determina el volumen de tinta transferida al soporte, la batería de entintado está formado por: cubeta, racla, bandeja y anilox.

- Cubeta: es un recipiente abierto o cerrado que contiene la tinta líquida.
- Racla: se apoya sobre el anilox. Tiene la misión de eliminar el sobrante de tinta en los alveolos.
- Bandeja: donde cae todo el sobrante de tinta.
- Anilox: es el componente principal de entintando. Es un cilindro grabado con pequeñas celdas que recogen la tinta. Esta encargado de dosificar directamente la tinta al cliché.

Las celdillas que componen el anilox, al igual que en huecograbado, retienen la tinta por absorción y tensión superficial. En función de su tamaño y profundidad así aumenta la capacidad de entintado. Los tres parámetros que mejor definan el anilox y su capacidad de entintado son:

- Lineatura
- Volumen
- Angulación

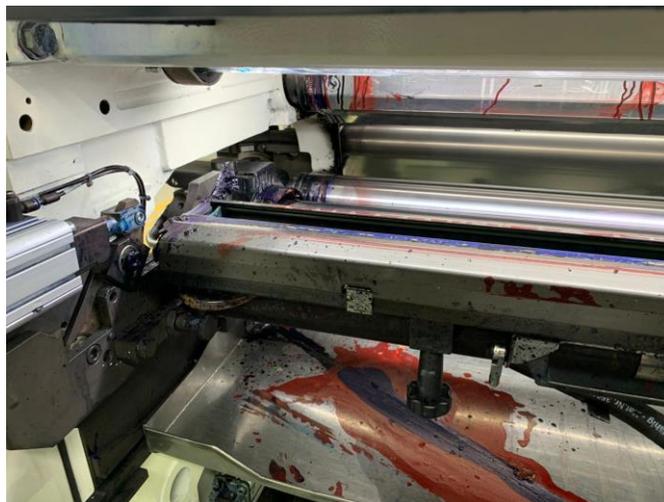
Figura 24. **Tintero**



Fuente: Planta de producción, Amatitlan. Miraflex.

- **Cuerpo impresor:** es la parte fundamental de la máquina, donde se transfiere la tinta al soporte. El cuerpo impresor está formado por: un cilindro porta cliché y cilindro impresor.
 - **Cilindro porta clichés:** es un cilindro metálico que contiene la forma flexible. La forma se adhiere a su alrededor mediante adhesivos comprensibles.
 - **Cilindro impresor:** cilindro con revestimiento de caucho duro. Su misión es respaldar al soporte en su contacto con el cliché.

Figura 25. **Cuerpo impresor**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlan. Miraflex.

- **Horno de secado:** el horno de secado tiene la misión de facilitar el secado de la tinta sobre el soporte. Existen dos tipos de secado sobre la prensa:

horno de secado y secadores entre estaciones. El horno de secado consiste básicamente en un sistema de aire caliente, formado por: quemador, ventilador y extractor de gases.

Figura 26. **Horno de secado**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlan. Miraflex.

2.7.2.2. Tipos de impresoras

Las máquinas flexo son muy variadas en su diseño y uso. Se disponen de tres tipos principales de tecnología de máquina.

- Torre: la máquina en torre tiene los cuerpos impresores situados uno encima del otro sobre una estructura de viga vertical. Cada cuerpo impresor es independiente. La bobina del soporte a imprimir pasa sucesivamente por cada uno de ellos.

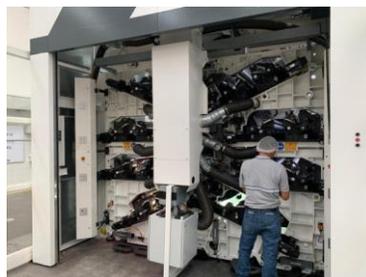
Figura 27. **Torre**



Fuente: Sistema impresión flexográfica, <https://www.here.cnice.mecd.es>. Consulta: 12 de noviembre de 2019.

- **Cilindro común:** en la máquina de cilindro común, también llamada de tambor central, hay un único cilindro impresor de gran diámetro montado sobre una estructura que tiene forma de H. Los cilindros portachichés inciden sobre un único cilindro impresor. La bobina del soporte a imprimir pasa simultáneamente por cada uno de ellos.

Figura 28. **Cilindro común, Tambor central**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlán, Miraflex.

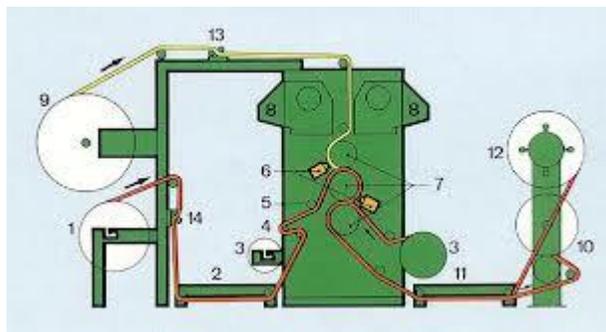
- En línea: la rotativa en línea tiene los cuerpos impresores independientes, uno a continuación de otro y apoyados en el suelo sobre un zócalo. Con una configuración similar a la rotativa comercial *offset*. La banda pasa sucesivamente por cada cuerpo impresor, paralela al suelo.

2.7.3. Laminadoras

Los films laminados es una combinación de dos o más films, son empleados para obtener resultados óptimos por la combinación de diferentes capas de sustrato.

Laminación es el simple acto de unir dos o más capas con presión y/o color para hacer uso de las propiedades de cada una de las capas individuales o del complejo total.

Figura 29. Laminadora



Fuente: Laminación por adhesivos sin solventes. Néstor David Ruíz.

2.7.3.1. Partes de laminadora

- Estación de aplicación: esta consiste en una serie de rodillos pulidos de hule y metal que depositan el adhesivo en el sustrato primario. La calidad de la superficie de los rodillos de este sistema determinará la fluidez del adhesivo e influirá directamente sobre la apariencia final de la laminación.

Figura 30. Estación de aplicación



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatlán. Laminadora.

- Sistema de extracción: el sistema de extracción debe ser de alta calidad para mantener el área de trabajo segura y ventilada. Este extractor debe disponer de un ducto de salida para los vapores. A altas velocidades de línea los adhesivos solventes generan vapores de adhesivo en la estación de aplicación, estos vapores son producto de la atomización del adhesivo cuando este se reparte entre los rodillos al girar.

Figura 31. Sistema de extracción

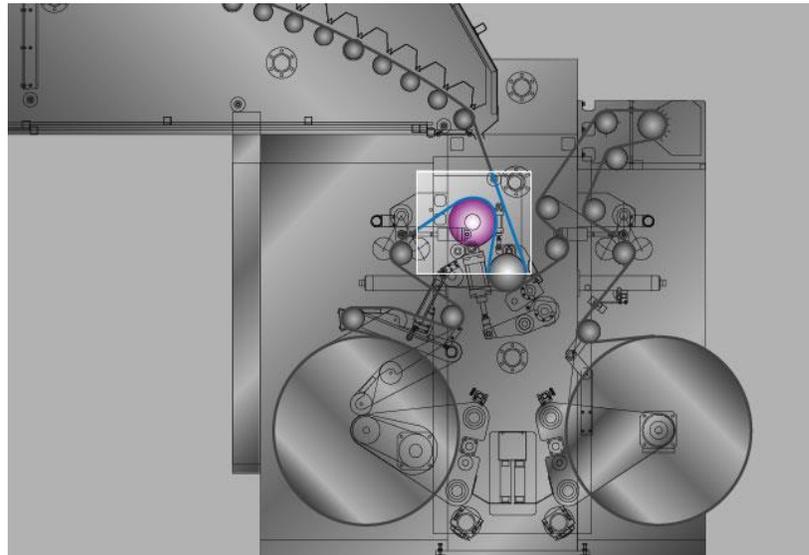


Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlán. Laminadora.

- NIP de laminación: los componentes esenciales de un NIP, de laminación para adhesivos *solvent less* son:
 - Rodillo calefaccionado: es de acero, cromado de doble pared con recorrido espiral del fluido calefaccionador. Por lo general se trata de agua caliente que recorre el rodillo entrando y saliendo a través de juntas rotativas. Debe ser de fácil ajuste y cambio de temperatura.
 - Rodillo de caucho: debe disponer de un sistema neumático de ajuste rápido y seguro. Este debe realizar una presión eficaz sobre el rodillo calefaccionado. Los tipos de cauchos más utilizados son en su orden *Hypalon*, *Silicona* y *Neoprene*.

- Rodillos de transporte auxiliares: son los encargados de dar el ángulo de abrace correcto antes y después del acoplamiento de los dos sustratos.
- Rodillo chill enfriamiento: consiste en uno o dos rodillos enfriadores los cuales reducen la temperatura del laminado que sale del NIP de laminación. En las actuales máquinas laminadoras se ha suprimido su uso, debido a que los adhesivos en su gran mayoría se aplican a temperatura ambiente.

Figura 32. **Rodillo NIP**



Fuente: Diagrama vista lateral. Laminadora.

- Control de tensión: un buen control de tensión permitirá obtener laminaciones con buena apariencia debido a que los adhesivos *solvent less* presentan bajos valores de fuerza de adhesión inicial y de esfuerzos

cortantes. El equipo de laminación debe contar con controles de tensión sobre los sustratos a laminar desbobinadores y sobre el embobinador de la máquina para evitar que se formen arrugas o dobleces.

2.7.3.2. Tipos de laminadoras

Existen varios tipos de laminadoras:

- Laminadoras con calandra caliente
- Laminadoras de aire caliente
- Laminadoras con fusión térmica del plástico
- Laminadoras a base de colas hotmelt
- Laminadoras a polvo
- Laminadoras con adhesivos base agua

3. FASE DIAGNÓSTICA

3.1. Sistema de enfriamiento

Por lo regular un sistema de enfriamiento está conformado por varios elementos que forman parte muy importante para que el sistema trabaje de la mejor manera, estos elementos son los siguientes:

- Bombas
- Chillers
- Torres de enfriamiento
- Dry coolers
- Intercambiadores de calor

Los sistemas de enfriamientos se utilizan para disminuir la temperatura de un fluido basado en el intercambio calorífico.

Los sistemas de refrigeración se basan en principios termodinámicos y están diseñados para promover el intercambio de calor entre el proceso y el refrigerante y para facilitar la liberación del calor irrecuperable al medioambiente. Los sistemas de refrigeración industrial pueden clasificarse en función de su diseño y de su principio básico de funcionamiento: agua o aire, o una combinación de ambos.

El intercambio calorífico entre el medio de proceso y el refrigerante se intensifica a través de intercambiadores, donde el refrigerante descarga su calor al ambiente.

3.2. Temperatura del agua en extrusoras

Los sistemas de enfriamientos generalmente son centralizados y enfrían el agua a una cierta temperatura, pero en algunas partes de la extrusora las temperaturas deben de ser diferentes ya que los elementos se deben mantener a una cierta temperatura para que la extrusora realice adecuadamente su función.

Del sistema de enfriamiento central el agua sale a 10 °C, y esta se transporta por tuberías hasta la extrusora y llega a un pequeño *chiller* de la extrusora.

Figura 33. Temperatura del agua en extrusoras



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatlán. Manómetros extrusoras.

3.2.1. Temperatura de inyección de IBC

La inyección IBC es un sistema de aire frío que entra a la burbuja desde el anillo extrusor y la salida de aire caliente de la burbuja.

La función del IBC es regular el tamaño del globo, la temperatura en la que se encuentra el agua en este dispositivo es de 20,8 °C.

Figura 34. Temperatura de IBC



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlán. Extrusoras, Control temperatura IBC.

3.2.2. Temperatura de la garganta y motoreductor

La garganta debe estar provista de un sistema de refrigeración el cuál debe estar por lo regular a 25 °C, para mantener la temperatura de esta zona lo suficiente baja para que las partículas de la granza no se adhieran a las paredes internas de las extrusoras.

Cuello o camisa de enfriamiento, caja reductora acoplada al motor y esta va a los tornillos de extrusión.

Figura 35. **Temperatura en la garganta y motoreductor.**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlan, Control de temperatura, extrusora 9.

3.2.3. Rodillo NIP

Por lo general en estos rodillos se hace circular un fluido que controla la temperatura del proceso en la zona del halador, también es posible controlar la temperatura de cada rodillo por separado. La sección de enfriamiento consiste en un conjunto de rodillos puestos en serie donde la lámina de plástico pasa debajo y por encima alternativamente, regularmente el agua llega a una temperatura de 13 °C la que sale del sistema de enfriamiento, pero un corema hace que esta temperatura se mantenga entre 18° - 20 °C.

Figura 36. **Sistema de enfriamiento en rodillo**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlan, Rodillo extrusora 9.

Figura 37. **Temperatura en corema**



Fuente: Control de temperatura en el corema, extrusora 9. Planta de producción, Amatitlan.

3.3. Temperatura del agua en Impresión

En los sistemas de enfriamiento en la industria de fabricación de películas flexibles lo más adecuado es dividir los sistemas de enfriamiento uno para las áreas que más necesiten enfriamiento como extrusión e impresión y el otro para todas las diferentes áreas que componen esta industria.

Por lo general en el área de flexografía la temperatura del agua que ingresa a las máquinas no es necesaria controlarla, ya que las máquinas modernas traen termorreguladores que dependiendo de la temperatura del agua que ingrese al sistema de la máquina, este la mantiene a una temperatura de 32 °C, que es lo que se necesita para que la máquina impresora funcione de la mejor manera y no tenga problemas a la hora de realizar su proceso de impresión en películas flexibles.

Cuando la temperatura esta por alto o por bajo de 32 °C, esta máquina tiende a tener diferentes problemas en los rodillos impresores o en los rodillos porta clichés y esto afecta en la calidad de la impresión.

Figura 38. Temperatura en impresora



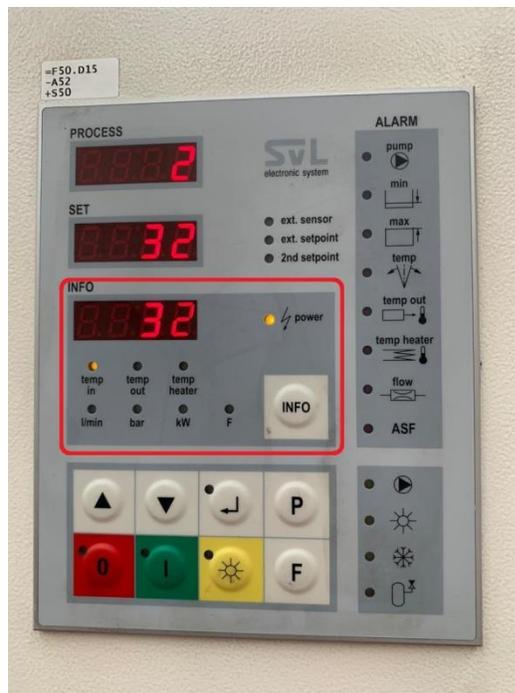
Fuente: elaboración propia, obtenida de panel de control de temperatura. Miraflex.

3.3.1. Temperatura en el tambor central

El tambor central es la parte más importante en las máquinas flexográficas ya que aquí es donde se realiza todo el proceso de impresión en las películas flexibles, la temperatura del agua en esta parte de la máquina es fundamental ya que el agua debe estar a 32 °C, para que el sistema de impresión funcione perfectamente.

En el caso que el agua no se encuentre a 32 °C, puede haber variaciones en la calidad de la impresión que afecten al acabado final que se requiere.

Figura 39. Temperatura en tambor central



Fuente: elaboración propia, obtenida de panel de control de temperatura, Miraflex.

3.3.2. Temperatura de los rodillos de la calandria

La temperatura del agua en estos rodillos de la calandria se debe mantener a 15 °C, que es la temperatura del agua que ingresa directamente del sistema de enfriamiento sin pasar por el termorregulador, los rodillos deben estar más fríos que el sistema normal, ya que la película flexible pasa por un proceso de secado a alta temperatura después de haber sido impreso el material y al pasar por estos rodillos la temperatura del material disminuye.

3.4. Temperatura del agua en laminación

En laminación el agua es un factor importante para que este proceso se realice de la mejor manera, en laminación se trabajan a temperaturas muy altas, para que el adhesivo pueda adherirse a las dos películas de plástico de forma correcta, es por ello que el agua es importante porque enfría los rodillos por donde pasa la película.

El fabricante de estas máquinas tiene un rango de temperatura del agua, en el cual debe estar esta, para que no haya ningún problema al momento que la máquina esté funcionando y esté realizando el proceso de laminación.

3.4.1. Temperatura de los rodillos aplicadores

Los rodillos aplicadores consisten en una serie de rodillos de metal los cuales son los que adhieren el adhesivo a una cara de la película, los rodillos deben permanecer a una cierta temperatura, el agua ayuda para que estos rodillos no estén a temperaturas muy altas, ya que el adhesivo tiene que estar a cierta temperatura para que tenga una buena adherencia al material el agua regula esta temperatura.

La temperatura del agua debe estar en un rango de 26° a 40 °C, esta temperatura la indica el fabricante para que la aplicación del adhesivo sea la correcta.

Figura 40. **Temperaturas en los coremas de aplicación**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlan, Control de temperatura. Laminadora.

3.4.2. Temperatura de los rodillos laminadores

Los rodillos NIP son un conjunto de rodillos los cuales tienen una función muy importante en el sistema, ya que estos unen las dos películas que se desean laminar, en esta sección la temperatura es alta para que la unión de estas películas sean uniformes, después de ser unidas las dos partes, pasan por el túnel de secado que hace que se seque el adhesivo, después de salir pasa por un rodillo Chill que al pasar por el enfría la película, por lo general la temperatura del agua adentro de los rodillos se mantiene entre 26° a 38 °C, la cual es la requerida por los fabricantes para que el proceso de laminación sea correcto.

Figura 41. **Temperaturas en los coremas de laminación**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlan, Control de temperatura. Laminadora.

4. PROPUESTA DE MEJORA DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

4.1. Elección y selección adecuada del sistema de enfriamiento

Para la elección y selección correcta de un chiller enfriado por agua o por aire requiere de una serie de particularidades importantes para su diseño e instalación, las cuales deben de responder a unas ciertas necesidades del proyecto.

El enfriador o *chiller* es una máquina frigorífica cuya función principal es enfriar un medio líquido, el cual por lo regular es agua. En otras palabras, cuando la función principal de frío esta activa, el chiller mantiene el líquido refrigerado; también puede funcionar como una bomba de calor el cual calienta el agua, esto se logra con la ayuda de un intercambio térmico por expansión directa.

Los componentes básicos de un chiller son los siguientes:

- **Compresor:** genera una diferencia de presión que permite al refrigerante en estado líquido circular en el sistema hasta llegar al condensador en forma de gas. Este es el elemento más importante del chiller.
- **Evaporador:** elemento que transfiere el calor del líquido por enfriar al refrigerante en punto de saturación.
- **Condensador:** intercambiador de calor que transforma el refrigerante de gas a líquido.
- **Torre de enfriamiento:** utilizada para reducir la temperatura del *chiller*.

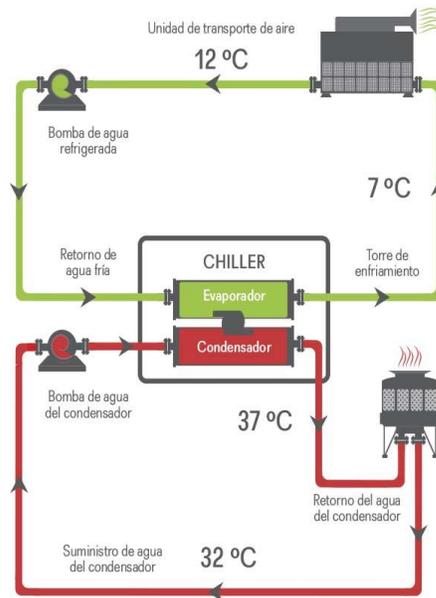
Al momento de seleccionar un *chiller* es importante conocer que existen dos tipos: los *chillers* enfriados por agua y *chillers* enfriados por aire.

Un sistema que es enfriado por agua tiene una mayor capacidad de enfriamiento, esto debido a que tiene una tasa de transferencia de calor del agua y por lo tanto es más recomendable para la industria. En cambio, un sistema enfriado por aire, tiene una menor capacidad debido a que la tasa de transferencia de calor es menor, una de las ventajas de este sistema es que el mantenimiento es menor, debido a que no existen incrustaciones de agua que se producen en los tubos de los intercambiadores de calor en los *chillers* enfriados por agua.

Un aspecto importante a considerar para la elección y selección adecuada de un sistema de enfriamiento es que los *chiller* enfriados por agua pueden proporcionar ventajas de eficiencia e impacto ambiental sobre los enfriados por aire. También es importante mencionar que los *chillers* enfriados por aire son menos costosos debido a que estos sistemas no requieren equipos que los *chilles* enfriados por agua sí, como la torre de enfriamiento y condensador.

Los *chillers* enfriados por agua presentan las mejores propiedades de transferencia del calor del agua en comparación con los *chillers* enfriados por aire.

Figura 42. **Ciclo de enfriamiento de un chiller**



Fuente: Cero grados celcius. <https://0grados.com.mx/como-seleccionar-un-chiller/>. Consulta: el 18 de agosto de 2020.

En la empresa se cuentan con varios *chillers* que son enfriados por aire, estos equipos tienen la capacidad de enfriar el agua y suministrarla a una cierta cantidad de equipo en planta. En la planta de producción se instalaron 5 máquinas nuevas que necesitan agua fría para diferentes procesos, es por ello que es importante seleccionar el equipo adecuado.

El Director de planta y el Jefe de mantenimiento se encargaron de cotizar el equipo más adecuado para aumentar la eficiencia de enfriamiento de agua, para realizar dicha elección y selección se reunió a discutir ciertos factores importantes como:

- El costo total del ciclo de vida: totalidad de gastos, directos o indirectos, fijos o variables, desde que inicia la investigación para determinar la

selección, adquisición, instalación, operación, mantenimiento y reparaciones.

- Fuente de energía
- Nivel de ruido
- Materiales de tubería interna
- Bombas
- Refrigerante

Al momento de hacer la investigación y cotizar diferentes equipos de enfriamiento se eligió y seleccionó un equipo de refrigeración por aire, de marca Eurochiller de 70 TON, el cual cubría con las necesidades requeridas.

Este equipo de enfriamiento por aire mejorará la eficiencia en un 100 % de enfriamiento del agua para las diferentes máquinas del área de producción. Las unidades de enfriamiento que se encuentran actualmente en planta son muy antiguas y por lo antiguas la eficiencia de estos equipos ha disminuido por el desgaste en sus elementos mecánicos.

Figura 43. **Chiller comprado**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlán. Eurochiller, *chiller*.

Este nuevo *chiller* tiene como fin cubrir con la carga de enfriamiento que se necesita para todas las máquinas de planta, con la carga de enfriamiento y por ser un equipo nuevo se alcanzará la máxima eficiencia de enfriamiento para que los elementos de las máquinas trabajen de la mejor manera.

4.2. Elección y selección adecuada de las torres de enfriamiento

Para realizar una elección y selección adecuada de una torre de enfriamiento para un sistema de enfriamiento es importante saber qué tipo de *chiller* se necesita.

- *Chillers* enfriados por aire: no es necesaria una torre de enfriamiento.
- *Chillers* enfriados por agua: son necesarias las torres de enfriamiento.

El equipo *chiller* que se compró para mejorar la eficiencia de enfriamiento trae un intercambiador de calor *DRY COOLER*, que comercialmente es vendido como *Adcooler*, por el fabricante.

Un *Adcooler* como es nombrado por el fabricante es un *Dry cooler* que es conocido como una torre adiabática porque son unas torres de enfriamiento que trabajan en un circuito cerrado, es decir, el agua nunca va en contacto con el aire. El agua en este sistema no está en contacto con las baterías para preservar la efectividad, pero se hace fluir sobre módulos adiabáticos que indirectamente refrigeran el aire de aspiración provocando un brusco descenso de temperatura.

Un *ADcooler* explota el aire ambiente para enfriar el agua de proceso. Si explotamos la evaporación del agua resultante para el uso de los módulos adiabáticos, se obtiene una temperatura del aire en salida a las baterías de intercambio muy inferior a la del ambiente. Es por eso que el sistema puede enfriar el agua a una temperatura siempre inferior a la ambiental sin ninguna contaminación o consumo de agua de proceso.

La ventaja de tener este tipo de torre es que el consumo de químicos para tratar el agua es mucho menor que el de una torre de enfriamiento convencional, el consumo de agua también es menor. Una de las mayores desventajas de estas torres es que el consumo de energía es mayor que el de las torres convencionales, por lo que el costo operativo de este equipo es mucho más alto, aun cuando el consumo de agua sea poco.

Figura 44. **ADcooler torre adiabática**



Fuente: Eurochiller. <http://https://www.eurochiller.com.mx/kit.html>. Consultado: 15 de enero de 2021.

4.3. Mantenimiento preventivo al sistema de enfriamiento

En toda máquina existen problemas mínimos y complejos, en los chiller existen problemas que debido al uso que se le da a la máquina se van desgastando las piezas, cambio de filtro, aceite, eso en lo mecánico y en lo eléctrico cuando se quema un fusible, contactor, capacitores, resistencia, por lo cual la solución es realizar un mantenimiento preventivo en el cual está basado en una programación de las actividades que se deben realizar, para anticiparse a posibles fallas que puedan surgir.

- **Mantenimientos a *chillers*:**

- Revisión de la carga de gas
- Revisión del selenoide
- Revisión de la válvula de expansión
- Revisión del serpentín del evaporador
- Revisión del transformador del evaporador
- Revisión del termostato
- Revisión de los timers
- Revisión del serpentín del condensador
- Revisión del motor ventilador del condensador
- Revisión del capacitor del condensador
- Revisión de los contactores del condensador
- Revisión de filtros de aceite y nivel de los compresores
- Cojinetes de la bomba de agua
- Abrazaderas de la bomba de agua

- **Periodicidad**

Las periodicidades para realizar los mantenimientos pueden ser tres: semanal, mensual o anual.

- **Mantenimiento semanal:** revisión del nivel de aceite el cual se debe observar en el vidrio del compresor, si el aceite no está en el nivel adecuado se deberá agregar o quitar aceite para que este pueda trabajar en óptimas condiciones. Revisión de la presión de succión y descarga, revisión del nivel del refrigerante si es el adecuado para la operación de la presión de succión y descarga, si al momento se observa que el nivel

de refrigerante no se encuentra al nivel normal, se debe recargar ya que puede si no está a su nivel normal este puede provocar un calentamiento y eso elevaría la presión y causaría una pérdida de aceite.

- **Mantenimiento mensual:** para este mantenimiento es importante realizar todos los pasos del mantenimiento semanal. Es importante llenar un registro del sistema caliente y del sub-enfriado. Revisión manual de los orificios del condensador, para verificar que todos los orificios se encuentren en óptimas condiciones.
- **Mantenimiento anual:** para el mantenimiento anual es importante realizar todos los pasos del mantenimiento mensual. Para la realización de este mantenimiento es importante que lo realice una persona capacitada y entrenada para realizar este tipo de mantenimiento ya que el deberá inspeccionar todas las condiciones del equipo,

La periodicidad del mantenimiento debe de seguir los procedimientos de mantenimiento e inspecciones en los intervalos de la frecuencia establecida. Esto prolongará la vida útil del equipo y reducirá la posibilidad de costos elevados para la empresa.

El adecuado diseño del sistema de refrigeración eliminará la posibilidad de problemas que puedan ocurrir durante la operación normal. No hay necesidad de realizar mantenimiento a las tuberías de refrigeración mientras la unidad esté operando.

Cuando un equipo está funcionando de manera correcta, únicamente se necesita revisar la adecuada circulación del aire en la succión y descarga y la

limpieza de las superficies del intercambiador de calor, por lo regular una vez al mes.

4.3.1. Calidad del agua

Todo proceso donde se requiera agua se debe de tratar el agua inicialmente ya que el agua tiene un potencial del hidrógeno ph, esto significa que hay una concentración de iones de hidrógeno de agua ácida o alcalina, los intervalos de la acidez están dentro de 0 a 6 de ph y los intervalos alcalinos están de 8 hasta 14 ph.

En estos procesos de enfriamiento el agua se trabaja a un $ph = 7$, este número se considera óptimo para este uso. Para que se logre este ph es necesario utilizar secuestrantes químicos los cuales permiten la disminución en el calcio y magnesio, también se puede evitar la corrosión dentro de la tubería donde circula el agua, es importante mencionar que es mucho más preferible trabajar con agua alcalina que con un ácida debido a que la ácidos siempre provocaría corrosión en la tubería, respecto a la alcalina que provoca incrustación.

- Porcentaje de glicol utilizado en el agua

El glicol se utiliza especialmente para que el agua dentro del sistema *chiller* no se cristalice, este porcentaje depende del rango de operación en que se requiera enfriar el agua para los procesos de producción.

A continuación, se presenta una tabla donde se muestra la temperatura y el porcentaje de glicol que se debe agregar al agua.

Tabla VII. **Porcentaje de glicol en el agua a cierta temperatura**

Temperatura de salida en grados Celsius	Porcentaje mínimo de glycol	Punto de congelación del glicol en grados Celsius
3,9	8 %	-3,3
3,3	8 %	-3,3
2,8	8 %	-3,3
2,2	8 %	-3,3
1,7	14 %	-6,1
1,1	14 %	-6,1
0,6	14 %	-6,1
0,0	14 %	-6,1
-0,6	14 %	-6,1
-1,1	19 %	-9,4
-1,7	19 %	-9,4
-2,2	19 %	-9,4
-2,8	19 %	-9,4
-3,3	19 %	-9,4
-3,9	24 %	-11,4

Fuente: VALLE, Edgar. Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo a un sistema de enfriamiento de agua, aplicado a un proceso industrial utilizado en agro textil. biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0512M.pdf. Consulta: 08 de febrero de 2021.

4.3.2. Eliminación de contaminantes en el sistema

En los sistemas de enfriamiento de agua se pueden ver afectados por diferentes tipos de contaminantes en el agua y eso puede afectar la eficiencia de los sistemas de enfriamiento en forma negativa por la corrosión, el sarro, las incrustaciones y la contaminación biológica.

- Contaminantes en el agua

Es muy importante, realizar análisis químicos y físicos al agua con el objetivo de determinar la naturaleza de la contaminación del agua y así poder eliminarlos, es por ello que es necesaria la instalación de un sistema de filtración de agua para solucionar dichos problemas.

Para evitar cualquier inconveniente con los contaminantes es importante instalar un sistema de tratamiento de agua, el cual consiste en varios pasos: A. Oxidación del cloro, B. Remoción del hierro con tanques oxidantes, C. Declorificación con filtros de carbón activado, D. Suavización de agua con filtros de resina y E. Distribución de agua.

Con este tipo de sistemas de tratamiento de agua el sistema de enfriamiento cumplirá con las necesidades que se requieran en la planta de producción y tener una mayor eficiencia.

4.4. Elección y selección de tuberías

El hacer la elección y selección de las tuberías que transporten el agua dependerán mucho del tubo, diámetro, longitud y accesorios, que se necesiten para cumplir con las necesidades para que el sistema funcione de la mejor manera.

Las tuberías de agua fría deben ser aisladas y a prueba de lluvia para evitar la pérdida de eficiencia y humedad en la condensación.

Con el fin de obtener la máxima operación y duración del sistema, es recomendable que se usen tuberías de agua de plástico como PVC, nunca se

debe usar tubería galvanizada HG, ya que la fricción y rugosidad de este material es de 0,15 mm, que es mucho mayor que la fricción que puede crear el PVC que es de 0,0015 mm.

Como se vio una gran desventaja con la rugosidad del HG en el cual se puede crear una gran cantidad de sedimentos adheridos a las paredes interna del tubo, ocasionándonos una reducción en el diámetro de la tubería y por lo cual todas las variables definidas se verán afectadas.

Por la gran desventaja del HG en la instalación se tomará la opción del PVC y así se aprovecha la ventaja del mismo como lo es el costo, maniobrabilidad, rápida instalación y que soporta la presión de operación del *chiller*.

Características importantes del PVC.

- Tiene una elevada resistencia a la abrasión, junto con una baja densidad de $1,4 \text{ g/cm}^3$, buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción.
- Es un material altamente resistente, los productos de PVC pueden durar hasta más de sesenta años como se comprueba en aplicaciones tales como tuberías para conducción de agua de acuerdo con el estado de las instalaciones se espera una prolongada duración del PVC.
- Debido a los átomos de cloro que forman parte del polímero PVC, no se quema con facilidad ni arde por sí solo y cesa de ardes una vez que la fuente de calor se ha retirado. Los perfiles de PVC empleados en la construcción para recubrimientos, cielorrasos, puertas y ventanas, se debe a la poca inflamabilidad que presenta.

- Se emplea eficazmente para aislar y proteger cables eléctricos en el hogar, oficinas y en las industrias debido a que es un buen aislante eléctrico.
- Se vuelve flexible y moldeable sin necesidad de someterlo a altas temperaturas con unos segundos es una llama es suficiente, mantiene su forma dada y propiedades una vez enfriado a temperatura ambiente, lo cual facilita su modificación.
- Alto valor energético.
- Amplio rango de dureza.
- Rentable, bajo costo de instalación.
- Resistente a la corrosión.

En la industria de fabricación de películas flexibles es muy común la utilización de estas tuberías plásticas de PVC.

4.5. Elección y selección de accesorios para tuberías

La elección y selección de accesorios dependerá de dos factores importantes:

- El material de la tubería
- El diámetro de la tubería

En la industria existen un sinnúmero de tipos de accesorios para tuberías que pueden ser de alta, media o baja presión y pueden ser fabricados en cobre o PVC.

En la industria de fabricación de películas flexibles lo más común es utilizar accesorios de PVC, como codos, tes y uniones, ya que el costo es menor y es mucho más fácil trabajar con este tipo de accesorios. Para los accesorios como

válvulas si es necesario utilizar de cobre ya que estos regulan la presión y soportan más carga de presión.

4.6. Caudal del agua en las tuberías

El caudal que circula dentro de las tuberías del sistema de enfriamiento en la planta es de $55 \frac{m^3}{h}$ en las tuberías de 4 pulgadas, este caudal es a la salida del chiller, la tubería se reduce en diámetro por lo cual el caudal cambia y este es de $12 \frac{m^3}{h}$.

4.7. Diseño de tuberías

Cuando se habla del diseño de las tuberías para la circulación de un fluido como el agua, entran varias magnitudes que se deben de tomar en consideración para que el funcionamiento y el objetivo del equipo se cumplan, las cuales magnitudes son: presión y caudal.

- Presión: se define como presión a la cantidad de fuerza que se ejerce por unidad de área. Esto se enuncia por medio de la ecuación,

Fórmula #1.

$$P = \frac{F}{A}$$

Blas Pascal, científico francés del siglo XVII, describió dos principios importantes acerca de la presión:

- La presión actúa de modo uniforme en todas las direcciones de un volumen pequeño de fluido.
- En un fluido confinado por fronteras sólidas, la presión actúa de manera perpendicular a la pared.

Al hacer cálculos que involucren la presión del fluido, se deben efectuar en relación con alguna presión de referencia. Es normal que la atmósfera sea la presión de referencia. Así, la presión que arroja la medición del fluido se llama presión manométrica. La presión que se mide en relación con un vacío perfecto se denomina presión absoluta. Tiene importancia extrema que se conozca la diferencia entre estas dos maneras de medir la presión, para poder convertir una en la otra.

Una ecuación sencilla que relaciona los dos sistemas de medición de la presión es:

Fórmula #2.

$$P_{ab} = P_a + P_m$$

Donde,

P_{ab} = presión absoluta

P_m = presión manométrica

P_a = presión atmosférica

En el diseño de la instalación de estas tuberías se basarán en las lecturas de presión manométrica para desarrollar los diferentes cálculos involucrados, así también se tomará en cuenta que la medición de presiones en diferentes puntos

del sistema de distribución de agua estará controlada por medidores de presión llamados manómetros.

Después de haber definido una de las dos magnitudes y explicar las diferentes formas de medición de esta magnitud y poder explicar cuál será la medición a utilizar les enfocaremos la importancia de esta otra magnitud en relación con el diseño.

- Caudal: es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto, tubería, cañería, oleoducto, río o canal por unidad de tiempo. Normalmente se identifica como el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en una unidad de tiempo.

Fórmula #3.

$$Q = A\bar{v}$$

Donde:

$$Q = \text{caudal} \left(\frac{l^3}{T} ; \frac{m^3}{s} \right)$$

$$A = \text{área} (l^2 ; m^2)$$

$$Q = \text{velocidad promedio} \left(\frac{l}{T} ; \frac{m}{s} \right)$$

En el caso de que la velocidad del fluido forme un ángulo θ con la perpendicular a la sección del área A atravesada por el fluido con velocidad uniforme v , entonces el flujo se calcula como: $Av \cos \theta$.

Como se vio en los párrafos anteriores, las dos variables ya están definidas, por lo cual se puede proceder a diseñar el sistema de distribución de agua a cada máquina, no perdiendo de vista todas las diferentes variables que se puedan observar. Se toman en cuenta las necesidades directas de la planta de producción y los diferentes niveles donde se instalará la tubería con respecto al piso, para que no exista ningún tipo de obstáculo en la logística interna de planta.

Para el diseño de la distribución de agua a todas las máquinas se tomó en cuenta los diferentes sistemas eléctricos que se encuentran en planta y por seguridad de una ruptura de la tubería, ninguna tubería pasará por encima de un sistema eléctrico. El diseño que se presenta se evaluó directamente en planta, verificando todas las ventajas y desventajas de su instalación, así como cada uno de los niveles respecto al piso, además de evaluaron las alturas en donde se instalarán las tuberías.

4.7.1. Altura de las tuberías

Como se observó en el inciso anterior, las dos variables para el mejor diseño de tuberías ya fueron definidas, por lo cual se procede a diseñar el sistema de distribución de agua a cada máquina, no perdiendo de vista las diferentes variables y sus rangos variados. Se tomarán en cuenta las ubicaciones de las máquinas a las cuales se les suministrará el agua de los chillers, es por ello que la instalación se realizará a una altura con respecto al piso para que no haya ningún tipo de obstáculo que afecte la logística interna de la materia prima, producto, tarimas, entre otros.

- Altura única: 4 m

Esta altura es la que se encuentra alrededor de la planta de producción, esta altura es constante dentro de planta, para la adecuada distribución de agua a todas las máquinas, esta altura se definió con base a la altura donde se encuentran instalados los *chillers*. Los *chillers* están ubicados en un segundo nivel, es por ello que la altura de salida de los *chiller* se siguió constante para que no existieran tantas pérdidas por fricción.

Figura 45. **Ramal de distribución de agua dentro de la planta.**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlán, Ramal de tuberías de agua fría.

- Sistema de soporte de tuberías

Los soportes de las tuberías fueron fabricados de hierro galvanizado y estos van anclados a las columnas “H” de la estructura de planta. A una distancia de 1.2 m., se instalaron los soportes para que estos puedan aguantar toda la carga lineal de distribución de agua para todas las máquinas.

Figura 46. **Soportes de tuberías**



Fuente: elaboración propia, obtenida de planta de producción, Amatitlán, Ramal de tuberías de agua fría.

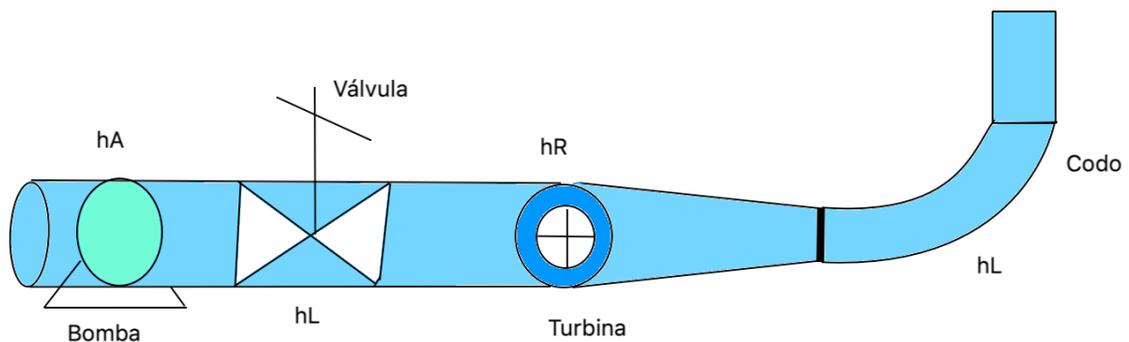
4.7.2. Pérdidas en las tuberías

A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción, estas energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema del flujo.

Hay diferentes tipos de pérdidas unas que son muy pequeñas en comparación y por consiguiente se hace referencia de ellas como pérdidas

menores, las cuales ocurren cuando hay un cambio en la sección de la trayectoria del fluido o en la dirección del flujo, o cuando la trayectoria del flujo se encuentra obstruida como sucede en una válvula, codos, tees, reductores de diámetro, entre otros.

Figura 47. **Diferentes pérdidas en las tuberías**



Fuente: elaboración propia, empleando la herramienta Paint.

En los accidentes de la conducción, uniones, codos, juntas, ensanchamientos, estrechamientos, válvulas, entre otros; se producen cambios de velocidad y dirección que afectan al flujo y se genera una turbulencia dentro de las tuberías que intensifican el rozamiento, contribuyendo de manera importante la pérdida de energía mecánica del fluido.

El conocimiento de estas pérdidas por fricción en conducciones tiene una gran importancia por ser necesario para calcular el trabajo mecánico que es necesario aplicar al fluido, mediante bombas, para mantener una determinada presión o velocidad y por lo tanto, un determinado caudal.

Además de las pérdidas de energía por fricción, hay otras pérdidas que son menores asociadas con los problemas en tuberías. Se considera que tales pérdidas ocurren localmente en el disturbio del flujo. Estas ocurren debido a

cualquier disturbio del flujo provocado por curvaturas o cambios en la sección. Estas son llamadas pérdidas menores porque pueden despreciarse con frecuencia, particularmente en tuberías largas donde las pérdidas debidas a la fricción son altas en comparación con las pérdidas locales. Sin embargo, en tuberías cortas y con un considerable número de accesorios, el efecto de las pérdidas locales será grande y deberán tenerse en cuenta.

Las pérdidas menores son provocadas generalmente por cambios en la velocidad, sea magnitud o dirección. Experimentalmente se ha demostrado que la magnitud de las pérdidas es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad, las pérdidas menores se expresan como:

$$h_{facc} = K \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_{facc} = pérdida de energía de un accesorio

K = coeficiente de pérdida del accesorio

V = velocidad media

G = aceleración de la gravedad

CONCLUSIONES

1. El sistema de enfriamiento en las empresas que se dedican a la fabricación de películas flexibles es muy importante ya que en sus procesos de manufactura la temperatura de los elementos mecánicos ayuda a que el material cumpla con las necesidades del cliente.
2. La elección y selección de los equipos de enfriamiento deben ser la correcta para que el sistema de enfriamiento cumpla con la eficiencia que se requiere para que los equipos mecánicos estén en óptimas condiciones.
3. La elección y selección de las tuberías debe ser la correcta para así evitar cualquier pérdida por fricción que se pueda dar si no se escoge bien la tubería.
4. El diseño de las tuberías debe ser el adecuado para así evitar las pérdidas en el recorrido del agua en las tuberías.

RECOMENDACIONES

1. Analizar el sistema de enfriamiento para conocer el estado actual del sistema, luego de eso se debe seleccionar el equipo acorde a las necesidades que se requieran, ya que hay diferentes equipos de enfriamiento.
2. Conocer a la perfección el sistema de enfriamiento instalado en la empresa ayudará a que los procesos de enfriamiento del material sea el más eficiente y así se logre la calidad necesaria para entregar un mejor producto.
3. Cumplir con los requisitos específicos para que los procesos de producción sean más eficientes juega una parte importante en la industria del plástico.
4. Tener el mejor material de PVC para las tuberías de distribución de agua, ya que en estas tuberías no se presentarían pérdidas de fricción por oxido.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR MIRANDA, Cherry Dalí. *Evaluación energética de sistemas frigoríficos chillers*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Facultad de Tecnología de la Industria (FTI), Universidad Nacional de Ingeniería. 2008. 137 p.
2. CAMEY HERNÁNDEZ, Byron Ariel. *Diseño de la instalación de un nuevo equipo tipo chiller para el sistema de distribución de agua de enfriamiento en moldes de soplado e inyección, para la empresa polindustrias s.a.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2017. 132 p.
3. CARRANZA GUZMÁN, Lenin Rafael. *Programa de operación y mantenimiento de extrusoras, para la manufactura de bobina plástica a base de polietileno*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2004. 113 p.
4. CARVAJAR GARCÉS, Federico. *Diseño del sistema de control para una máquina extrusora de polietileno de alta y baja densidad para fabricar películas de polietileno, para la empresa Incolpa Ltda.* Trabajo de graduación de Ing. Electrónica y Telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, 2015. 117 p.

5. Chillers, Aspectos técnicos. Revista: Cero Grados, 21 julio 2017, 9:00 [Consulta: 13 de enero de 2021] Disponible en: <<https://0grados.com.mx/chillers-aspectos-tecnicos/>>
6. Eurochiller S.L.R, 2018. [Consulta: 15 de enero de 2021] Disponible en: <<http://https://www.eurochiller.com.mx/kit.html>>
7. GÓMEZ GÓMEZ, Jimmy Joane. *Diseño de una extrusora para plásticos*. Trabajo de graduación de Tecnólogo en Mecánica. Facultad de Tecnologías, Universidad Tecnológica de Pereira, 2007. 121 p.
8. LÓPEZ PÉREZ, Heidy Paola. *Establecimiento de un sistema de inspección y ensayo por variables y atributos del laboratorio de extrusión en una empresa de empaques flexibles*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 140 p.
9. MOTT, R. L. *Mecánica de Fluidos*. [en línea] Universidad de Dayton, 2006. [Consulta: 20 de noviembre de 2020] Formato en PDF, Disponible en: <<https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>>
10. RAMIREZ MÉNDEZ, Sebastián Javier. *Propuesta de mejora de la eficiencia del sistema de refrigeración de cilindros en el proceso de laminación en planta perfiles, siderúrgicas de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018. 162 p.

11. VALLE ÁLVAREZ, Edgar Adolfo. *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo a un sistema de enfriamiento de agua, aplicado a un proceso industrial utilizado en agro textil*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. 69 p.