



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

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE CUATRO EMPAQUES FLEXIBLES PARA EL PROCESO
DE RETORTA CON VARIACIONES DE ADHESIVO Y PERMEABILIDAD EN SU
ESTRUCTURA INTERNA**

Wilson Humberto Félix Reyna

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma Ramos

Guatemala, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE CUATRO EMPAQUES FLEXIBLES PARA
EL PROCESO DE RETORTA CON VARIACIONES DE ADHESIVO Y
PERMEABILIDAD EN SU ESTRUCTURA INTERNA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WILSON HUMBERTO FÉLIX REYNA
ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA RAMOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

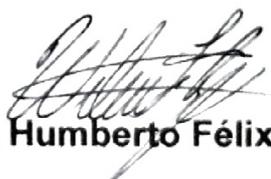
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo.
EXAMINADOR	Ing. Manuel Emilio Figueroa Solares.
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE CUATRO EMPAQUES FLEXIBLES PARA EL PROCESO DE RETORTA CON VARIACIONES DE ADHESIVO Y PERMEABILIDAD EN SU ESTRUCTURA INTERNA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 14 de octubre de 2016.


Wilson Humberto Félix Reyna

Guatemala, 13 de octubre de 2018

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Ingeniero:

Con un cordial saludo me dirijo a su persona para informarle que he asesorado y aprobado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: **"EVALUACIÓN COMPARATIVA DE CUATRO EMPAQUES FLEXIBLES PARA EL PROCESO DE RETORTA CON VARIACIONES DE ADHESIVO Y PERMEABILIDAD EN SU ESTRUCTURA INTERNA."**, elaborado por el estudiante de carrera de Ingeniería Química Wilson Humberto Félix Reyna quien se identifica con el carné número 2011-22780 y CUI 2235445150101. Considero que el informe desarrollado satisface los requisitos exigidos.

Agradezco la atención a la presente.

Atentamente:



Hilda Piedad Palma de Martini
Colegiado No. 453
ASESORA

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 11 de marzo de 2019.
Ref. EIQ.TG-IF.013.2019.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **059-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Wilson Humberto Félix Reyna**.
Identificado con número de carné: **2235 44515 0101**.
Identificado con registro académico: **2011-22780**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE CUATRO EMPAQUES FLEXIBLES PARA
EL PROCESO DE RETORTA CON VARIACIONES DE ADHESIVO Y
PERMEABILIDAD EN SU ESTRUCTURA INTERNA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma Ramos de Martini**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.



"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Dinna Lissette Estrada Moreira
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.061.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación, de la carrera de Ingeniería Química, del estudiante, **WILSON HUMBERTO FÉLIX REYNA** titulado: **“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE CUATRO EMPAQUES FLEXIBLES PARA EL PROCESO DE RETORTA CON VARIACIONES DE ADHESIVO Y PERMEABILIDAD EN SU ESTRUCTURA INTERNA”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Williams G. Alvarez Mejía; M.I.Q., M.U.I.E
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre de 2019

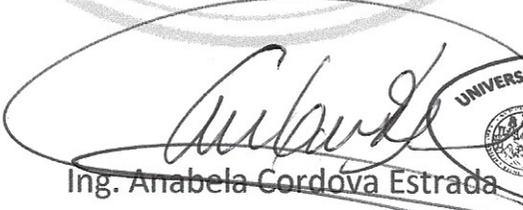
Cc: Archivo
WGAM/ale



DTG. 438.2019

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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN COMPARATIVA DE CUATRO EMPAQUES FLEXIBLES PARA EL PROCESO DE RETORTA CON VARIACIONES DE ADHESIVO Y PERMEABILIDAD EN SU ESTRUCTURA INTERNA**, presentado el estudiante universitario: **Wilson Humberto Félix Reyna**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Tu amor, gracia y misericordia me han permitido llegar hasta aquí. Gracias por poner en mí, sabiduría, inteligencia, persistencia y la fuerza para cumplir esta meta.

Mis padres

Wilsoon Félix y Susana Reyna, por su amor, entrega y apoyo en todos los momentos de mi vida. Gracias por enseñarme a buscar la excelencia en todo lo que emprenda. Esta victoria es también de ustedes.

Mi hermano

Iván Félix, por ser mi mejor amigo y apoyo durante toda la carrera. Por compartir mis desvelos y cansancios durante la carrera. Sos un ejemplo de persistencia y amor de Dios para mí.

Mi abuelo

Carlos Reyna, por ser un buen amigo y enseñarme que los corredores exitosos se hacen en la pista y no en la cama.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme sus puertas y ser mi casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme sus puertas a un enorme y apasionante mundo de conocimientos.
Inga. Hilda Palma	Por su apoyo y dedicación en mi formación académica. Gracias por su pasión al transmitir sus conocimientos.
Ing. Guillermo Ergon	Gracias por creer en mí y en mi capacidad. Me enseñaste que no debo temerle a la vida; Dios estará conmigo en todo momento.
Sr. Carlos Manuel Orellana	Por sus valiosos consejos para mi vida y enseñarme el valor del orden y la disciplina.
Mis amigos	Jasmin de León, Natalia Valdes, Noemi de León, Lisbeth Flores, Ana Valdes, Sebastian Estrada, Alex Obando y Daniel Cortez. Gracias a ustedes por apoyarme y confiar que lo lograría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Empaque para alimentos.....	3
2.1.1. Empaques plásticos.....	4
2.1.2. Extrusión de materiales plásticos	4
2.1.3. Estructura de los empaques plásticos	5
2.2. Sustrato	5
2.2.1. Metalizado	6
2.2.2. Nuevas tecnologías en sustratos.....	7
2.2.3. Tecnología EVA.....	9
2.2.4. Tereftalato de polietileno (PET)	9
2.2.5. Reacción de poli condensado.....	10
2.3. Tintas.....	11
2.3.1. Tintas flexográficas.....	12
2.3.2. Tratamiento corona.....	12
2.3.3. Flexografía.....	13

2.4.	Adhesivos.....	14
2.4.1.	Fenómenos de la adhesión	15
2.4.2.	Formulación de los adhesivos poliuretánicos.....	16
2.4.3.	Adhesivos aromáticos	17
2.4.4.	Adhesivos alifáticos.....	18
2.4.5.	Propiedades de los adhesivos.....	19
2.4.5.1.	Viscosidad.....	19
2.4.5.2.	Tiempo de secado.....	19
2.4.5.3.	Tiempo abierto	20
2.4.5.4.	Contenido de sólidos.....	20
2.4.5.5.	Resistencia al desgarre.....	21
2.5.	Sellante	22
2.6.	Proceso de retorta.....	22
2.6.1.	Empaque flexible para el proceso de retorta	23
2.7.	Autoclaves.....	27
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
3.1.	Variables	29
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	29
3.2.1.	Materia prima	29
3.2.2.	Lugar de obtención.....	30
3.2.3.	Lugar de experimentación	30
3.3.	Recursos humanos disponibles	30
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	31
3.4.1.	Cristalería y equipo	31
3.4.2.	Reactivos.....	32
3.5.	Técnica Cuantitativa.....	32
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	33
3.6.1.	Método para la recolección de materia prima.....	33

3.6.2.	Procedimiento para crear los empaques.	34
3.6.3.	Análisis físico-mecánico.....	35
3.6.3.1.	Procedimiento para sustrato previo a impresión	35
3.6.3.2.	Procedimiento para determinar aportes.....	35
3.6.3.3.	Procedimiento para retorta, fuerza de bond y escaneo de integridad.....	36
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	37
4.	RESULTADOS	41
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES.....	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	55
	APÉNDICES	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Nuevas tecnologías para sustratos	8
2.	Cadena del polietileno PET	9
3.	Reacción química para fabricar PET	11
4.	Funcionamiento del rodillo flexográfico	14
5.	Formulación de los adhesivos poliuretánicos	17
6.	Compuesto aromático	18
7.	Compuesto aromático	18
8.	Procedimiento General.....	32

TABLAS

I.	Comparación de las propiedades de los polímeros más utilizados	6
II.	Comparación entre formatos con metalizado y no metalizado.....	7
III.	Descripción de variables	29
IV.	Propiedades de materiales previos a impresión.....	37
V.	Escaneo de Integridad.	38
VI.	Propiedades antes y después de retorta según nombramiento de material para adhesivo sin base solvente.	38
VII.	Propiedades antes y después de retorta según nombramiento de material para adhesivo base solvente.....	39
VIII.	Propiedades de materiales.....	41
IX.	Escaneo de integridad de empaques	41
X.	Solventes Retenidos Interfacialmente	42

XI.	Propiedades antes y después de retorta según nombramiento de material para adhesivo sin base solvente.....	42
XII.	Propiedades antes y después de retorta según nombramiento de material para adhesivo base solvente.....	43
XIII.	Comparación de propiedades de bond antes y después de retorta según composición de material	43
XIV.	Comparación de propiedades de emigración antes y después de retorta según composición de material	44

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
P1	Capa permeable 1
P2	Capa permeable 2
cm²	Centímetros cuadrados
cc	Centímetros cúbicos
°C	Grado Celsius
Kg	Kilogramos
m	Metro
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
mg	Miligramos
µm	Micrómetro
in²	Pulgadas cuadradas
S	Sustrato
SI	Sellante

GLOSARIO

Adhesivo	Sustancia interpuesta entre dos capas, sirve para adherirlas o pegarlas.
Amina aromática	Compuestos químicos altamente cancerígenos.
Aromáticos	Partículas que proveen de un olor característico.
Barrera permeable	Barrera que evita la migración de sustancias específicas.
Capa estructural	Cada una de las capas que, en su conjunto, forman la estructura completa del empaque.
Emigración	Movimiento en el cual, sustancias específicas entran o salen del empaque a los alimentos.
Equipo	Es el elemento que constituye el todo o parte de una máquina o instalación.
Escaneo de integridad	Escaneo óptico del empaque para asegurar que no existan.
Humectar	Mojar ligeramente con agua u otro líquido.

Inocuidad	Incapacidad de un alimento para hacer daño por su ingestión.
Niebla salina	Sustancias corrosivas que afectan la integridad y permeabilidad de los empaques.
Ozono	Gas oxidante que afecta la integridad de los empaques y algunos alimentos en su interior.
Palatabilidad	Cualidades sensitivas que posee un alimento.
Pasteurizar	Someter un alimento a altas temperaturas con el fin de destruir los microorganismos sin alterar su composición.
Plásticos	Son aquellos materiales que pueden ser moldeados.
Polimerización	Proceso en el cual, moléculas simples reaccionan entre sí para formar moléculas más complejas.
Polímeros	Macromoléculas orgánicas formadas por la unión de monómeros.
Refilado	Proceso en el cual una bobina de plástico es cortada a un tamaño menor.
Resinas	Sustancias orgánicas que se procesan para la formación de polímeros.

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los resultados experimentales del diseño y la comparación de empaques retortables con algunas variaciones en su prueba y diseño estructural; se utilizaron para ello diversos instrumentos de análisis para empaques flexibles utilizados para el proceso de retorta.

Se determinaron las principales variaciones que puede presentar un empaque flexible a base de plástico, así como las diferentes enzimas que son capaces de polimerizarse y que además resistan las condiciones a las que serán expuestas. Se determinó el nivel de degradación que los empaques comunes experimentan al ser sometidos a procedimientos de retorta.

Para alcanzar los objetivos fue necesario crear un plano integral del empaque flexible, en vista que un empaque flexible puede tener 'n' cantidad de laminaciones de acuerdo a las propiedades que se desean en el mismo. La cantidad de capas que se utilizaron fue de 'n+1' de acuerdo a la cantidad de laminaciones. Es por ello que para reducir el número de laminaciones y por tanto, de capas que compondrán la estructura del empaque, se utilizaron sustratos reforzados con enzimas poliméricas, tintas especializadas para procesos térmicos, capas poliméricas especializadas para permeación térmica y adhesivos de alta sellabilidad; todo con la intención de formar una pequeña multicapa de alto rendimiento.

A partir de la composición seleccionada se determinaron los proveedores de acuerdo con las fichas técnicas de los materiales a requerir. Se creó un plan de importaciones de manera que los materiales llegaran en un lapso cercano unos de otros, y de esta manera procesarlos de manera continua. Una de las partes esenciales es la medición de propiedades físicas, grosor y peso, con el fin de determinar la densidad de las estructuras, necesario para la calibración de las máquinas impresoras y laminadoras.

Llegados los materiales a la planta, se procedió a llevarlos a las dimensiones de proceso, 1,20 m.

Las pruebas de impresión fueron realizadas dentro de la planta de trabajo, las laminaciones fueron realizadas en distintos centros de polímeros en la ciudad de Valencia, España. Las pruebas de retorta fueron realizadas en U.S.A. y Costa Rica, en los laboratorios de Henkel. Los resultados obtenidos por parte de los proveedores ya cuentan con análisis estadísticos de pequeña escala, esto debido a que la batería de pruebas por empaque resulta en una inversión de energía demasiado elevada. Con estos resultados fue posible comparar y demostrar que es posible la construcción de empaques retortables de alto rendimiento.

OBJETIVOS

General

Evaluar los parámetros físicos y físicomecánicos para la elaboración de empaques flexibles para el proceso de retorta bajo distintas estructuras de empaque.

Específicos

1. Determinar el efecto de la variación del adhesivo sobre las características físicas y físicomecánicas de los empaques flexibles para el proceso de retorta.
2. Determinar el efecto de la adición de una capa permeable sobre las características físicas y físicomecánicas de los empaques flexibles para el proceso de retorta.
3. Determinar las propiedades físicas y físico-mecánicas: hermeticidad, retorta, fuerza de bond y escaneo de integridad.
4. Comparar los resultados de las propiedades físicas y físico-mecánicas contra los valores establecidos por una empresa dedicada a la elaboración de empaques flexibles.

HIPÓTESIS

Es posible encontrar una variación estructural que satisfaga los requerimientos y parámetros necesarios para la producción de un empaque flexible para el proceso de retorta.

Hipótesis nula

- Ho: es posible adecuar una estructura para empaques flexibles para el proceso de retorta que cumpla con los requerimientos estándar de una empresa dedicada a la elaboración de empaques flexibles.

Hipótesis alternativa

- Ha: no es posible adecuar una estructura para empaques flexibles para el proceso de retorta que cumpla con los requerimientos estándar de una empresa dedicada a la elaboración de empaques flexibles.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las tecnologías alimenticias desarrollan nuevos alimentos y métodos para su preparación, por lo que buscan diferentes tipos de presentaciones, no solo para promoción del producto si no para facilitar su forma de preservar, cocinar, preparar o de servir los alimentos. Aquí es donde entra la importancia de las nuevas tecnologías en empaques alimenticios.

Las condiciones demográficas actuales han cambiado nuestras prioridades, enfocándose en no desperdiciar o mal gastar el tiempo en la preparación y cocción de alimentos, presentando un aumento en aquellos alimentos rápidos o fáciles de consumir.

La manufactura actual de alimentos requiere que la esterilización de los alimentos se realice de forma separada al empaque, esto debido a que los enlatados tienden a degradar los barnices alimenticios y los plásticos generan poliamidas nocivas para la salud, y al estar en contacto con el alimento a altas temperaturas se puede dar contaminaciones directas por metalización o contaminantes orgánicos.

Sin embargo, se reconoce por medio de las empresas manufactureras en la necesidad de un método o solución para realizar la esterilización de alimentos en conjunto con su empaque, reduciendo enormemente los gastos de producción y aumentando la producción en sus líneas de alimentos.

1. ANTECEDENTES

Se investigó acerca de los empaques para el proceso de retorta y sobre estructuras de retorta y no se encontró resultado alguno. Existen estudios acerca de empresas que producen empaques para alimentos, tomando como base sistemas de calidad e inocuidad, fundamentales en la producción de empaques retortables.

En el 2011 se publicó la tesis titulada Análisis y mejora en el proceso productivo del área de impresión, laminación y slitter a través del aumento de la eficiencia como estrategia para el desarrollo sostenible en la empresa Polímeros y Tecnología, S.A., realizada por Karen Ivet Artica Tórrez asesorado por el ingeniero industrial Ángel Darío Meda Ruíz. Se realizó un estudio en el área de impresión, que incluye el proceso de impresión, laminación y refilado con el fin de aumentar la eficiencia, productividad y el nivel de compromiso de los empleados con la empresa. Se tomaron en consideración factores como el personal y los métodos bajo los cuales se realizan las actividades.

Se pretende utilizar los aumentos en los rendimientos del área de impresión de la empresa en la cual fue realizado el estudio, ya que en la misma empresa se desarrolló la investigación de empaques para retorta.

En el 2014 se publicó la tesis titulada Diseño e implementación de un manual de seguridad e higiene industrial para Polímeros y Tecnología, S.A., realizada por René Edmundo Chicas Robles y asesorado por el ingeniero industrial Norma Ileana Sarmiento Zeceña. El objetivo del trabajo de investigación fue la elaboración de un manual de seguridad e higiene industrial, con el fin de mejorar la organización y reducir los accidentes dentro del área productiva.

Para utilizar el área productiva de la empresa mencionada, es necesario acoplarse a las normas y los manuales que rigen el área productiva. Dicho manual, se encuentra contenido en el trabajo de graduación mencionado.

En el 2014 se publicó la tesis titulada Diseño de investigación en implementación del sistema haccp en una línea de un alimento de baja acidez termoprocesado, para garantizar su calidad e inocuidad como producto de exportación, realizada por Diana Maissa Raymundo Martínez y asesorado por la ingeniera Ana Alicia Paz Pierri. El objetivo del trabajo de investigación fue el estudio y análisis de un alimento termosensible y de alta acidez. La alternativa por la que optó la empresa fue la de implementar sistemas de retorta para sus alimentos; el trabajo incluye una sección para el proceso de retorta y contacto con el polímero que se utilizará de empaque; enumerando los problemas que pueden existir con el material utilizado, antes y después del proceso de retorta.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Empaque para alimentos

Los empaques son estructuras constituidas por materiales básicos y que por su naturaleza se pueden manejar en forma manual en máquinas de envolturas o en máquinas de formado, llenado y sellado. Puede ser presentado como rollos, bolsas, pliegos o etiquetas, ya sean en forma impresa o sin impresión. Son el contenedor de un producto, diseñado y producido para protegerlo y preservarlo adecuadamente durante su transporte, almacenamiento y entrega al consumidor o cliente final. Los empaques pueden ser divididos en dos categorías:

- Empaques rígidos
- Empaques flexibles

Los empaques rígidos están constituidos primordialmente por:

- Vidrio
- Metal
- Madera

Los empaques flexibles están constituidos primordialmente por:

- Papel
- Aluminio
- Plástico

2.1.1. Empaques plásticos

Los empaques plásticos son aquellos empaques compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias; las cuales son fáciles de moldear bajo efectos térmicos presentando algunas modificaciones de forma.

Algunas de las ventajas de utilizar empaques plásticos son:

- Menos gasto de energía para convertir la resina a productos plásticos; la mayoría de las veces se requieren menores temperaturas para el proceso.
- Los productos plásticos poseen menos peso y, por lo tanto, menos consumo de combustible para el proceso de entrega.
- Los restos o sobrantes de los procesos de producción de polímeros pueden ser reciclados en el mismo lugar de producción, la mayoría de las veces por extrusiones y peletizados.

2.1.2. Extrusión de materiales plásticos

La extrusión consiste en hacer pasar bajo la acción de la presión un material termoplástico a través de un orificio con forma más o menos compleja (hilera), de manera tal, y continua, que el material adquiera una sección transversal igual a la del orificio. En la extrusión de termoplásticos el proceso no es tan simple, ya que, durante el mismo, el polímero se funde dentro de un cilindro y posteriormente, enfriado en una calandria. Este proceso de extrusión tiene por objetivo, usarse para la producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, entre otros.

2.1.3. Estructura de los empaques plásticos

Los empaques flexibles a base de polímeros presentan una estructura trilaminada o tetralaminada, dependiendo de las características que se deseen, así como requerimientos adicionales, tal es el caso de la permeación. Sin embargo, todos los empaques flexibles a base de polímeros responden a las siguientes capas estructurales:

- Sustrato
- Tintas
- Sellantes
- Adhesivo
- Capas adicionales a la estructura

2.2. Sustrato

El sustrato es la capa o lámina dentro del empaque que fungirá como su base; generalmente es la capa más fuerte de la estructura. Además, es la capa sobre la cual se aplican las tintas. El sustrato es la capa más externa del empaque. El problema al que están sometidos los sustratos es que, al ser la capa más externa del empaque, reciben de primera mano todos los cambios y alteraciones externas.

La más importante es la alteración térmica, en especial, el aumento de temperatura. Los aumentos de temperatura resultan en una degradación directa de las propiedades de permeabilidad ante humedad y gases, esto incluye, evitar la entrada de oxígeno, y evitar la salida del vapor de agua y aromáticos que

contenga el alimento. Es posible comparar los sustratos más utilizados y de esta manera seleccionar el deseado según sus propiedades:

Tabla I. **Comparación de las propiedades de los polimeros más utilizados**

	BOPA	PET	OPP
Espesor base	15 µm	12 µm	50-70 µm
Punto de fusión	220°C	260°C	160°C
Calidad de impresión	Buena	Excelente	Buena
Rigidez	Buena	Excelente	Buena
Punción	Excelente	Baja	Buena
Resistencia al calor	Buena	Excelente	Media
Resistencia al frio	Excelente	Buena	Buena
Sellabilidad	Buena	Baja	Buena
Flexibilidad	Excelente	Buena	Buena

Fuente: FINLAYSON, K. M. *Plastic Film Technology*. p. 45.

Los sustratos pueden clasificarse de acuerdo a una capa extra que puede ser aplicada:

- Con metalizado
- Sin metalizado

2.2.1. Metalizado

El metalizado es una lámina o capa extra que puede ser agregado a la estructura de acuerdo con las propiedades o beneficios que se deseen aumentar en el empaque.

La comparación entre un empaque con metalizado y sin metalizado puede ser sintetizado de la siguiente manera:

Tabla II. **Comparación entre formatos con metalizado y no metalizado**

Formato	Propiedades	Beneficios
Con metalizado	<ul style="list-style-type: none"> • Impermeable al O₂, H₂O, luz, gases y aromáticos. • Resistencia a la corrosión. • Mantiene propiedades de palatabilidad. • Alta resistencia. • Mantiene la forma del empaque. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta gama de espesor y aleaciones para su aplicación. • Amplitud de recurso.
Sin metalizado	<ul style="list-style-type: none"> • Alta transparencia y buenas propiedades ópticas. • Baja permeabilidad. • Alta resistencia y soporte de abuso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Empaque traslucido. • Se puede calentar en microondas. • Se puede utilizar detector de metales durante el llenado.

Fuente: ESUMER. *Slideshare* <http://es.slideshare.net/VirtualEsumer/tipos-de-empaques-y-embalajes-aplicacin-industria> Consulta: 23 de septiembre de 2016.x

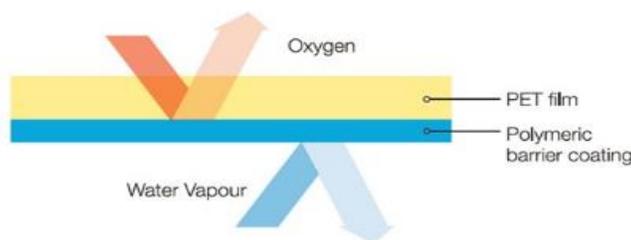
2.2.2. Nuevas tecnologías en sustratos

Actualmente, existen tecnologías que permiten mejorar las propiedades y características de los sustratos, los cuales utilizan la tecnología EVA. La capa normal está compuesta de un polímero base; generalmente utiliza una capa de PET, reforzada con una barrera polimérica, la cual protege las superficies de metal plástico contra los daños causados por el agua, el aire y los productos químicos, así como de niebla salina y otros elementos corrosivos, o que puedan llegar a dañar el contenido interno de la bolsa o empaque. Dicho recubrimiento debe conservar la dureza y flexibilidad suficiente para resistir el agrietamiento y

garantizar una larga vida útil de anaquel. Las características de esta nueva tecnología son:

- Permite utilizar procesos de retorta para esterilizar el empaque.
- Alta resistencia a flexión, alargamiento y plegado del empaque.
- Mayor nivel de barrera a los gases.
- Excelente dureza y flexibilidad.
- Permite al empaque ser transparente, esto debido a que los procesos de retorta requieren que sea agregada una capa extra para permear el empaque.
- Al no poseer metal, los procesos podrán adaptar detectores de metales, esto en lo concerniente a las normas HACCP.
- Reduce el impacto ambiental.

Figura 1. **Nuevas tecnologías para sustratos**



Fuente: KURARAY. <http://www.eval.eu/media/56179/kurarister%20-%20introduction.pdf>

Consulta: 25 de septiembre de 2016.

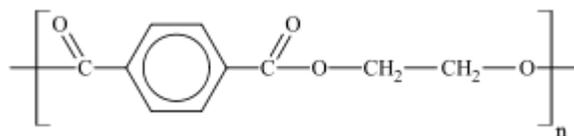
2.2.3. Tecnología EVA

El EVA es un material termoplástico extremadamente resistente a la intemperie, al oxígeno y al ozono. Esta resistencia se debe a que en el material de EVA es muy baja la probabilidad de que exista una reacción de oxidación. Por ser un material termoplástico, el EVA puede ser utilizado para la fabricación de láminas expandidas o inyectadas.

2.2.4. Tereftalato de polietileno (PET)

Químicamente, el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensado entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como la mayoría de termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección y soplado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con lo que se logra una mayor transparencia. La razón de su transparencia al enfriarse rápidamente consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible.

Figura 2. Cadena del polietileno PET



Fuente: EIS. <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pet/obtencionpet.html> Consulta: 20 de septiembre de 2016.

Entre las características del PET están:

- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia térmica.
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran su uso en mercados específicos.
- Reciclable.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

2.2.5. Reacción de policondensado

Se desarrolla una reacción directa (esterificación) del ácido tereftálico con el etilenglicol formando un monómero (bis-B-hidroxietil tereftalato), el cual se someterá a una policondensación para obtener un polímero de cadena larga que contiene cerca de 100 unidades repetidas. Mientras que la reacción de esterificación tiene lugar con la eliminación del agua como subproducto, la fase de policondensado que se efectúa en condiciones de alto vacío, libera una molécula de glicol cada vez que la cadena se alarga por unidad repetida.

Una vez que la longitud de cadena es suficientemente larga, el PET se extruye a través de un dado de orificios múltiples para obtener un espagueti que se enfría en agua y una vez semisólido es cortado en peletizador obteniendo así el granulado.

Figura 3. **Reacción química para fabricar PET**



Fuente: *Tecnología de los plásticos.*

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

Consulta: 20 de septiembre de 2016.

2.3. Tintas

La mayoría de los empaques flexibles llevan logotipos o colores que intentan llamar la atención; esto se logra gracias a las tintas, las cuales son aplicadas sobre el sustrato. La tinta es un líquido que contiene varios pigmentos o colorantes utilizados para colorear una superficie con el fin de crear imágenes o textos. Existen dos tipos de tinta:

- Rotográficas
- Flexográficas

2.3.1. Tintas flexográficas

Las tintas de flexografía son no grasas (su base es alcohólica o acuosa). Tienen poca viscosidad y secan muy rápido (por eso es un proceso de impresión muy ágil). Son translúcidas: no son opacas y cuando se imprime una tinta encima de otra, los colores se suman, no se tapan (mezcla de colores sustractiva: los pigmentos sustraen luz).

Al igual que los sustratos, las tintas han evolucionado a nuevas tecnologías que permitan mejores rendimientos para diferentes procesos, que mejoran el rendimiento de pigmentación, o bien, no permiten que este decaiga. Estas tecnologías se basan en tintas con base solvente que requieren de altas fuerzas de laminación. Estas tintas presentan buena adherencia en poliéster con tratamiento corona.

Estas tintas retortables son formuladas como un sistema de un solo componente para desarrollar fuerzas de laminación mucho más superiores que no se deslaminen y que no requieran aditivos adicionales para mejorar la polimerización del material, es decir polimerizaciones no deseadas, especialmente con los adhesivos, los cuales pueden degradar las tintas.

2.3.2. Tratamiento corona

Tanto los films como los objetos de plástico poseen superficies impermeables (no porosas) y químicamente inertes cuyas tensiones son bajas, lo que las hace no receptivas para adherirse a los sustratos, tintas para imprimir, adhesivos y lazas o recubrimientos. El tratamiento corona aumenta la energía de la superficie de los films plásticos, capas, papel y polímeros a fin de incrementar

su permeabilidad para favorecer a la adhesión de las tintas, cubiertas y adhesivos. El tratamiento da mejores resultados cuando un sustrato es tratado en el momento de la extrusión y en la línea de producción antes de su conversión. El tratamiento corona incrementa la calidad y la productividad ya que, luego de haber realizado dicho tratamiento, se obtendrá no sólo mayor calidad y rapidez en la impresión; también existe una cantidad menor de desperdicios.

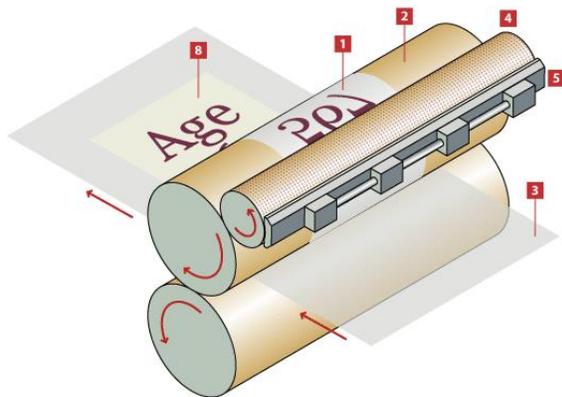
2.3.3. Flexografía

La flexografía es un sistema de impresión en altorrelieve (las zonas de la plancha que imprimen están más altas que aquellas que no deben imprimir). La tinta se deposita sobre la plancha, que a su vez presiona directamente el sustrato imprimible, dejando la mancha allí donde ha tocado la superficie a imprimir. Lo que distingue a la flexografía, es que la placa es de un material gomoso y flexible (de ahí su nombre de flexografía). El funcionamiento de la flexografía se da de la siguiente manera:

- Se prepara la plancha (1) con un material flexible y gomoso; la imagen impresa se coloca de forma invertida.
- La plancha se ajusta al cilindro porta forma.
- Se engancha el sustrato al sistema.
- Un cilindro de cerámica o acero (4) cubierto de miles de huecos en forma de celdillas recibirá la tinta.
- Al girar, el cilindro entra a su vez en contacto directo con la plancha y le proporciona tinta en las zonas de relieve. Las zonas más bajas quedan secas.

- La plancha, sigue girando y entra en suave contacto directo con el sustrato. El cilindro de impresión sirve para mantener el sustrato en posición.
- El sustrato recibe la imagen de tinta de la plancha y sale ya impreso (secándose de forma muy rápida).

Figura 4. **Funcionamiento del rodillo flexográfico**



Fuente: *Tecnología de los plásticos*.

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

Consulta: 20 de septiembre de 2016.

2.4. Adhesivos

Debido a que las tintas no pueden tener contacto directo con los alimentos, es necesario colocar una o dos capas de polímeros para conseguir la separación adecuada. El adhesivo es el encargado de unir dichas capas. Un adhesivo es una sustancia capaz de mantener unidos a dos materiales por unión superficial.

En la tecnología de adhesivos se llama adherencia únicamente a la interacción entre una superficie sólida y una segunda fase también sólida.

2.4.1. Fenómenos de la adhesión

Existen teorías que explican el fenómeno de la adhesión; la teoría de adhesión mecánica se basa en que, observada con gran aumento, la superficie de los sólidos planos es rugosa. Esta rugosidad permite que al unir dos sólidos a adherir o sustratos, quede entre ellos un espacio. Este espacio será ocupado por el adhesivo y luego que el mismo se haya transformado en sólido, ya sea por un proceso químico irreversible o un proceso físico reversible, se logrará la unión deseada. Los resultados pueden ser:

- Si la tensión superficial del adhesivo es elevada e igual a la del sustrato, se obtendrá una pésima humectación, y no habrá adhesión.
- Si la tensión superficial es alta pero menor a la del sustrato, se obtendrá una humectación regular y una mala adhesión.
- Si la tensión superficial del adhesivo es mínima y la del sustrato elevada, la humectación será ideal y la adhesión óptima.

Los adhesivos pueden clasificarse según la base que utilizan:

- Base solvente: Este tipo de adhesivos contiene, en su formulación, solventes orgánicos e inorgánicos como: hexano, acetona, metil etil cetona, tolueno, alcohol isopropílico, xileno, acetato de etilo, azotolueno, ciclohexanonas,

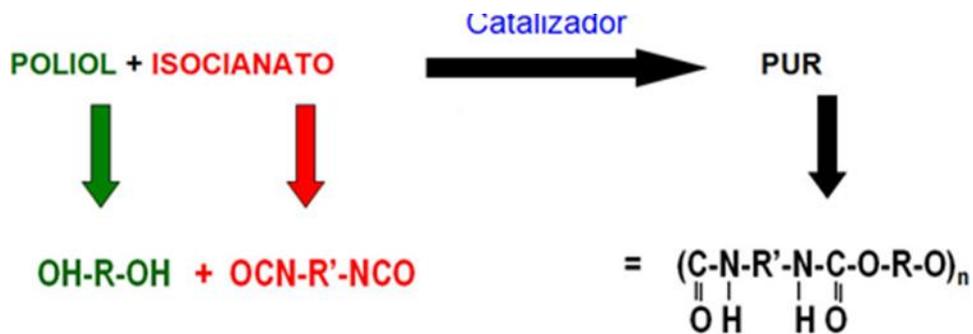
isopropanol; puede aparecer uno más a la vez dependiendo del uso y las características del adhesivo.

- Base acuosa: Estos adhesivos pueden ser emulsiones acuosas, dispersiones en fase líquida o líquidos polimerizables. La viscosidad de estos adhesivos puede ser controlada fácilmente por la adición de agua, lo cual permite una variedad de formulaciones. Estos adhesivos funcionan muy bien cuando los sustratos que se van a adherir son muy porosos, lo que permite una rápida evaporación de agua y el adhesivo llega a ocupar las cavidades entre las superficies. Dentro de esta clasificación, podrían incluirse a los adhesivos que contienen una base natural como almidones y dextrinas.
- Adhesivos sólidos: Se encuentran como polvo, películas o cintas. Aquí se encuentran los adhesivos denominados colas calientes, que se encuentran en estado sólido a temperatura ambiente y desarrollan sus características adhesivas cuando se funden en calor.

2.4.2. Formulación de los adhesivos poliuretánicos

El poliuretano (PU) es un polímero que se obtiene mediante condensación de bases hidroxílicas combinadas con isocianatos. Los poliuretanos se clasifican en dos grupos, definidos por su estructura química, diferenciados por su comportamiento frente a la temperatura.

Figura 5. **Formulación de los adhesivos poliuretánicos**



Fuente: EIS. <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PET/Q%20ES%20EL%20PET.html>

Consulta: 20 de septiembre de 2016.

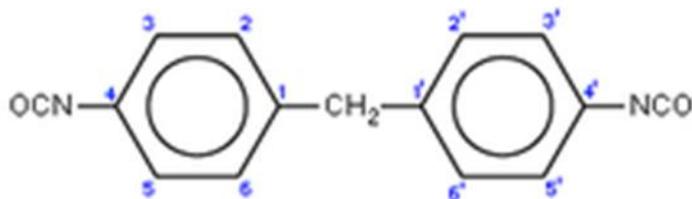
Un poliuretano puede formarse según el isocianato a utilizar, los cuales pueden ser:

- Aromático
- Alifático

2.4.3. Adhesivos aromáticos

Son aquellos adhesivos formados por isocianatos cíclicos. Estos adhesivos presentan una rápida reactividad. Sin embargo, en caso de ser mal curados, pueden llegar a ser altamente cancerígenos, por lo que FDA (food and drugs administration, por sus siglas en inglés) requiere que se coloque una barrera de aluminio para evitar migraciones aromáticas al alimento.

Figura 6. **Compuesto aromático**



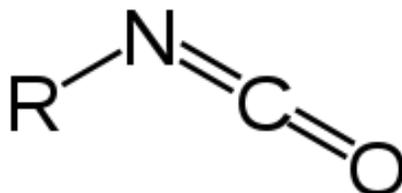
Fuente: *Tecnologías de plásticos.*

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/05/tratamiento-corona.html> Consulta: 20 de septiembre de 2016.

2.4.4. **Adhesivos alifáticos**

Son aquellos adhesivos que están formados por isocianatos lineales. Estos adhesivos presentan una baja reactividad, por lo que deben ser calentados para acelerar dicha reactividad. Es necesario mencionar que estos adhesivos no generan volátiles o cancerígenos por que la FDA no presenta inconvenientes al utilizar dicho adhesivo.

Figura 7. **Compuesto aromático**



Fuente: *Tecnologías de plásticos.*

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/05/tratamiento-corona.htm> Consulta: 20 de septiembre de 2016.

2.4.5. Propiedades de los adhesivos

Un fluido es una sustancia que no se resiste permanentemente a la distorsión. Cuando la forma del fluido se intenta variar, las capas de este se deslizan unas sobre otras, y se alcanza una nueva forma. Durante la variación de la forma, se producen esfuerzos cortantes, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido y de la velocidad de deslizamiento de las capas. Cuando el fluido toma su forma final y se encuentra en reposo, no existen esfuerzos cortantes.

2.4.5.1. Viscosidad

Los adhesivos no son simplemente fluidos. En general, están formados por polímeros disueltos en solventes orgánicos o inorgánicos, polvos, y otros componentes que provocan variaciones en las propiedades físicas y químicas de cada tipo de adhesivo.

La viscosidad es la resistencia al corte que presenta todo fluido, dependiente de la temperatura de este. En un adhesivo, esta es una de las propiedades más importantes para su formulación, control de calidad y aplicación.

2.4.5.2. Tiempo de secado

El tiempo de secado en cada tipo de adhesivo es diferente. El método de análisis consiste básicamente en elaborar una película de adhesivo de un grosor conocido sobre una plancha de vidrio; el tiempo que se requiere para evaporar todo el solvente de la película del adhesivo se denomina tiempo de secado. El tiempo de secado depende del grosor de la película, del tipo de solvente que el

adhesivo contenga, de la humedad ambiental y de las corrientes de aire que intervengan en el secado, que deben ser de tipo natural y no forzadas.

El tiempo necesario para que una unión de substratos quede totalmente adherida se denomina tiempo de curado, y puede estar relacionado con el tiempo de secado del adhesivo, así como la estructura de los substratos.

Si los substratos son materiales porosos, que permiten la evaporación de los solventes del adhesivo, entonces el tiempo de secado del adhesivo puede ser similar al tiempo de curado de la unión de los substratos. De otra manera, si los substratos no son porosos, el tiempo de curado de la unión y el tiempo de secado del adhesivo no se relacionan.

2.4.5.3. Tiempo abierto

El tiempo abierto de un adhesivo se define como el periodo de tiempo en el cual es posible efectuar la adhesión de dos materiales. El fin de este período está dado por el tiempo de secado.

Cuando un adhesivo ya ha secado, es posible regresarlo a su tiempo abierto, por medio de calor. Este método es conocido como reactivación del adhesivo.

2.4.5.4. Contenido de sólidos

El contenido de sólidos de un adhesivo se define como la cantidad de materiales no volátiles que se encuentran dentro de él, y se expresa en forma de porcentaje.

Este es un dato muy importante para el formulador de adhesivos y para el usuario de estos, ya que este porcentaje determina la capacidad de humectación y de adhesión que posee el adhesivo.

2.4.5.5. Resistencia al desgarre

La resistencia al desgarre se define como el esfuerzo necesario que debe aplicar a dos materiales adheridos para lograr su desgarre o despegue total.

La resistencia al desgarre se practica en materiales flexibles. Existen tres tipos de resistencia al desgarre, que depende del tiempo de curado que se le dé a la unión de los substratos:

- Resistencia inicial: se mide la resistencia de la unión pasado un pequeño intervalo de tiempo después de la adhesión.
- Resistencia final: se mide la resistencia de la unión cuando el tiempo de curado se ha alcanzado.
- Resistencia después del envejecimiento: el envejecimiento de una unión de substratos se realiza aplicándole a la misma, condiciones ambientales de frío o calor de forma directa y por un periodo de tiempo específico. Pasado este período de envejecimiento de la unión, se procede a determinar su resistencia al desgarre.

2.5. Sellante

El sellante es la capa más profunda del empaque, y es aquella que tendrá contacto con el alimento. Al recibir temperatura y presión, esta capa literalmente sellará la bolsa (empaque) al unirse con la cara contraria. Las características que deben cumplir los empaques plásticos son:

- Ligereza y flexibilidad
- Buena inercia química
- Facilidad de impresión
- Compatibilidades con otros procesos, como el uso de microondas
- Versatilidad
- Amplia gama de resistencias mecánicas
- Amplia gama de materiales
- Permeabilidad a gases

2.6. Proceso de retorta

Proceso térmico que recibe la comida y su empaque en el que la temperatura se eleva entre 120 °C - 135 °C, el tiempo varía de acuerdo al alimento a retortar, aunque la mayoría oscila entre 60 y 90 minutos; esto con el fin de eliminar bacterias y asegurar un producto aséptico e inocuo. La retorta se realiza por dos motivos:

- Preservar los alimentos
- Pasteurizar los alimentos

Actualmente se manejan distintos tipos de retorta de acuerdo a los alimentos que se vayan a manejar;

- Retorta suave: utiliza temperaturas $<120\text{ }^{\circ}\text{C}$, y generalmente es utilizado para verdura.
- Retorta normal: utiliza temperaturas de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos y en su mayoría es utilizado para carnes y salsas.
- Retorta alta: utiliza temperaturas de $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 a 10 minutos, y es utilizado generalmente para la cocción de granos.

El utilizar un proceso de retorta, asegura que la inocuidad de los alimentos se preservará ya que los empaques serán esterilizados junto al alimento, el cual no tendrá contacto alguno fuera del empaque. Por medio de la inactivación de enzimas, se evita que se produzcan reacciones de pardeamiento, o reacción de Maillard; lo cual le conferirá un mejor aspecto al alimento, o bien, no permitirá que el aspecto decaiga.

En la mayoría de alimentos, los procesos de cocción se vuelven potenciadores naturales de los alimentos, muchas veces debido a la liberación de algunas propiedades aromáticas dentro del alimento, al realizarse la cocción dentro del empaque, se asegura que el aroma y sabor del alimento se mantendrá y no emigrará fuera del mismo.

2.6.1. Empaque flexible para el proceso de retorta

Son estructuras laminadas que son procesadas térmicamente como una lata. Los materiales de los envases flexibles proporcionan propiedades de barrera superiores para una larga vida útil, integridad, dureza y resistencia a la perforación, además de soportar los rigores del procesamiento térmico. Es un empaque herméticamente sellado y que resiste el tratamiento térmico necesario

para su esterilización, conjuntamente con su contenido. Algunas de las características que deben cumplir dichos empaques son:

- Resistencia térmica
- Fuerza de tensión
- Impermeabilidad a vapor de agua y gases
- Resistencia a punción

Algunas de las ventajas de retortar flexibles son:

- Una bolsa tarda menos tiempo para alcanzar la temperatura de esterilización en comparación a las latas, esto debido a que la bolsa es más delgada y presenta una mayor área superficial.
-
- La calidad del producto se mantiene mejor. El producto conserva su color, permanece firme en textura, conserva su color, pierde menos nutrientes y mantiene la frescura. La bolsa es especialmente beneficiosa para los productos tales como salsas delicadas, mariscos y platos principales, donde el color y la textura son importantes. Además, los productos tales como verduras pueden ser empacados en bolsas de esterilización con menos salmuera.
- Los productos que son empacados en flexibles y aplicados a retorta, no requieren refrigeración o congelación y pueden ser almacenados a temperatura ambiente.

- Los alimentos empacados pueden consumirse sin calentamiento, o se pueden calentar rápidamente mediante la colocación de la bolsa en agua hirviendo durante unos pocos minutos. También, es posible calentarlo en el horno microondas, incluso puede calentarse junto al empaque, siempre que este no contenga aluminio.
- Una bolsa puede ser abierta fácilmente por la parte superior a través de un desgarre, o utilizando tijeras. Además, hay menos problema en manejar una bolsa inmediatamente después de sacarla de agua caliente.
- Los alimentos pueden consumirse directamente del empaque.
- Las bolsas pesan menos que las latas y tarros, reduciendo costo de movilización y distribución.
- Las bolsas tanto llenas como vacías, ocupan menos espacio de almacenamiento que las latas. Ocupan hasta un 85 % menos de espacio de almacenamiento.
- La combinación de la estabilidad de almacenamiento sin refrigeración y la ligereza de la bolsa, permiten que los alimentos puedan alcanzar lugares más lejanos de distribución.

Debido a los alimentos que pueden ser sometidos a este tratamiento, se considera América Latina como el perfecto campo de desarrollo para dicha tecnología. Algunos de los controladores de la necesidad de esta tecnología son:

- Mujeres y madres trabajadoras, personas solas y población de la tercera edad.
- Alimentos de conveniencia.

- Aumento de la biotecnología alimenticia.

La esterilización térmica es uno de los medios más eficaces para preservar una gran parte de nuestro suministro de alimentos. El objetivo de la esterilización es extender la vida útil de los productos alimenticios y hacer que el alimento sea seguro para el consumo humano mediante la destrucción de microorganismos dañinos. Un esterilizador es una unidad en la cual el alimento se calienta a alta temperatura manteniendo la temperatura por un periodo suficiente para matar los microorganismos en cuestión.

Un producto estéril es uno en la que no hay microorganismos viables presentes. Un organismo viable es uno que es capaz de reproducir cuando se expone a condiciones que son óptimas para su crecimiento. Dado que las esporas bacterianas son mucho más resistentes al calor que las células vegetativas, que son de interés primordial en la mayoría de los procesos de esterilización. El vapor saturado es el medio de calentamiento más usado y muy conveniente para la esterilización comercial de alimentos.

El llenado convencional para procesos de retorta consta de las siguientes operaciones:

- Preparación de la comida
- Escaldado
- Llenado del empaque
- Sellado del empaque
- Esterilización mediante tratamiento térmico
- Enfriar el empaque, generalmente utilizando un baño de agua fría

2.7. Autoclaves

Para realizar los procesos de retorta se utilizan autoclaves para el procesamiento térmico. El método de esterilización consiste en cargar los contenedores por medio de cestas, posteriormente cerrando el contenedor, y calentando con vapor. Un controlador regula la temperatura y la duración del calentamiento. La introducción de vapor en el proceso se debe realizar con cuidado ya que es necesario desplazar todo el aire del interior. La presencia de aire durante el proceso de esterilización térmica puede dar lugar a que el proceso transfiera calor a tasas menores de las requeridas.

Los autoclaves están dispuestos tanto de forma vertical como horizontal. Las partes que componen un autoclave son las siguientes:

- Entrada de vapor
- Entrada de agua
- Orificios de salida para la ventilación de la retorta
- Los puertos de salida para ventilación y drenaje
- Entradas y salidas para el vapor
- Válvulas de seguridad para controlar la presión
- Un termómetro, sonda de registro y medidores de presión

En la esterilización de alimentos, el mecanismo de transferencia de calor a través de la comida líquida es clasificado como de convección y conducción. La conducción es el movimiento de calor por transferencia directa de energía molecular dentro de los sólidos. La convección libre es la transferencia de calor en líquido por grupo de moléculas que se mueven como resultado de diferencias

en la densidad del fluido. En la mayoría de las aplicaciones de estos dos tipos de transferencia de calor se producen simultáneamente, pero un tipo puede ser más importante que el otro.

La transferencia de calor en estado estacionario se lleva a cabo cuando no hay cambio en la temperatura con el tiempo. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones de procesamiento de alimentos, la temperatura del alimento o del medio de calentamiento o enfriamiento está en constante cambio, y la transferencia de calor en estado no estacionario se encuentra más comúnmente.

Los cambios de temperatura son influidos por:

- La temperatura inicial del cuerpo.
- La temperatura del medio de calentamiento.
- La transferencia de calor del coeficiente de superficie.
- La conductividad térmica, calor específico y densidad de los alimentos y su variación con temperatura y composición.
- Espesor del cuerpo a calentar.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Se indican a continuación las variables dependientes e independientes que se utilizaron en la fase experimental.

Tabla III. Descripción de variables

Dependientes	Independientes
<ul style="list-style-type: none">• Ancho (m)• Filtración de gases (cc/100in²)• Unidades propias de medición	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura de secado (°C)• Tiempo (min)• Contenido de tintas (%)• Contenido de adhesivo (%)• Anilox

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

A continuación se detallan las delimitaciones para el campo de estudio de los empaques retortables.

3.2.1. Materia prima

- Sustrato
- Cuatrilla de tintas

- Sellante
- Adhesivo base solvente
- Adhesivo sin solvente
- Metalizado
- Capa Intermedia

3.2.2. Lugar de obtención

- Cuatrilla de tintas: Chile
- Sustrato: Japón
- Adhesivos: Estados Unidos
- Capa intermedia: Chile
- Sellante: Perú
- Aluminio: Costa Rica

3.2.3. Lugar de experimentación

Planta de una empresa productora de empaques flexibles

3.3. Recursos humanos disponibles

Personas que aportan trabajo, esfuerzo, tiempo y conocimientos. El recurso humano de la presente investigación:

- Investigador: Wilson Humberto Félix Reyna
- Asesor: Inga. Qca. Hilda Piedad Palma Ramos

3.4. Recursos materiales disponibles

Durante la fase experimental del presente trabajo se utilizaron los siguientes recursos materiales:

3.4.1. Cristalería y equipo

- Impresora flexográfica marca COMEXI
- Montacargas
- Laminadora base solvente
- Laminadora sin solvente
- Cortadora industrial
- Selladora industrial
- Refiladora industrial
- Autoclave
- Balanza
- Cuchilla
- Molde metal (25 cm² y de 100 cm²)
- Cinta métrica
- Micrómetro
- Analizador X-RITE PANTONE
- Instron
- Piseta
- Varilla de agitación
- Beacker

3.4.2. Reactivos

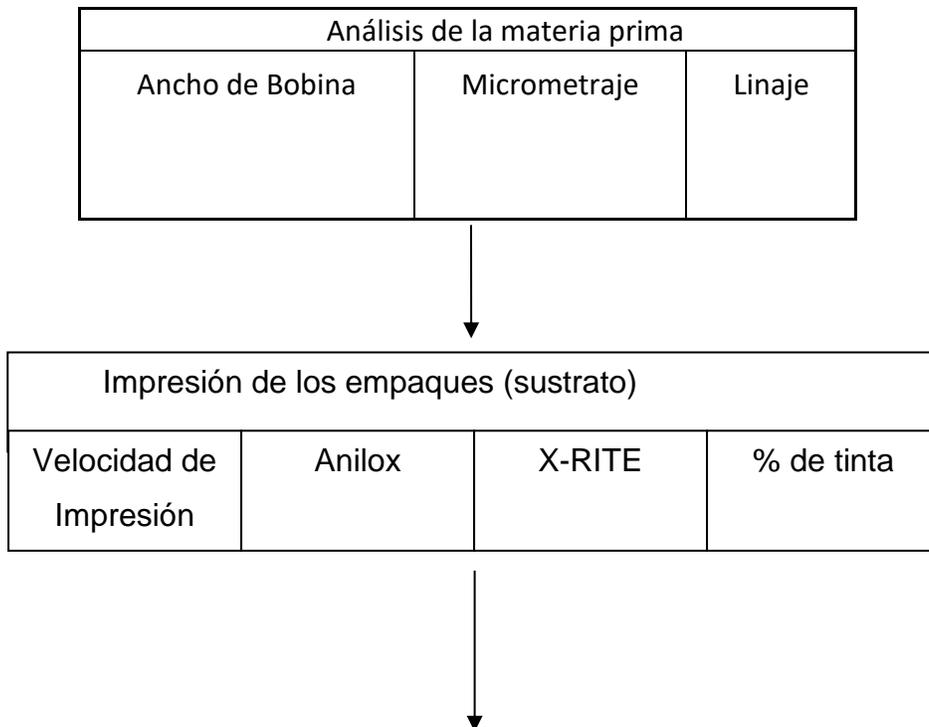
- Acetato de etilo

3.5. Técnica cuantitativa

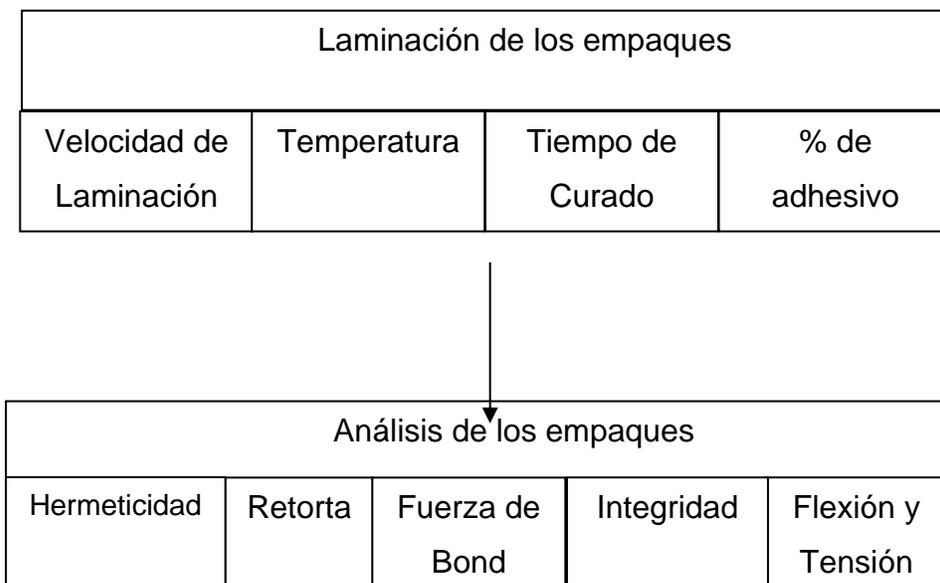
Se realizarán mediciones exactas de diversos parámetros y el análisis estadístico de la comparación de resultados de propiedades físico-mecánicas.

A continuación, se muestra un esquema y las mediciones cuantitativas que se realizarán

Figura 8. **Procedimiento general**



Continuación de la figura 8.



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Las variables serán recolectadas y documentadas en las etapas de caracterización de la materia prima, elaboración de empaques con variaciones estructurales y evaluación de las propiedades físico-mecánicas. A continuación, se detalla la metodología experimental.

3.6.1. Método para la recolección de materia prima

- Las bobinas de material virgen serán refileadas para su óptimo desempeño.

- Marcador dinamométrico para determinar las dinas en el material, así como un micrómetro para determinar el grosor.

3.6.2. Procedimiento para crear los empaques

- Se coloca la bobina de sustrato en la impresora y se llenan los tanques de tinta.
- Se imprimirá el diseño con código de retorta, se deberá esperar 24 horas antes de proseguir.
- Se colocará la bobina impresa en la laminadora, se llenarán los tanques con los reactivos del adhesivo.
- Se realizará la primera laminación, la cual consiste en la adhesión del sustrato con el permeador.
- Se tomarán muestras de la laminación para determinar el momento de realizar el próximo paso.
- Se realizará la segunda laminación, únicamente a aquellos empaques (50 % de ellos) que llevarán la capa extra de laminado metálico.
- Se tomarán muestras de la laminación para determinar el momento de realizar el próximo paso.
- Se realizará la última laminación, se unirá la estructura que se tiene con el sellante.

- Se tomarán muestras de la laminación para determinar el momento de realizar el próximo paso.
- Se cortarán las bobinas para formar los empaques.

3.6.3. Análisis fisicomecánico

A continuación, se detallan las pruebas que se realizarán a los empaques retortables formados. La mitad de los análisis serán realizados en la empresa especializada en empaques flexibles; los otros análisis serán desarrollados en un laboratorio especializado en Estados Unidos.

3.6.3.1. Procedimiento para sustrato previo a impresión

El sustrato, que es la primera parte de la estructura que será trabajada, será sometido a pruebas previas para determinar sus propiedades.

- Tomar una muestra del sustrato de 1 m²
- Utilizar el micrómetro para determinar el micrometraje del sustrato
- Utilizar el marcador de dinas para determinar el linaje del sustrato
- Tomar una muestra de 10 cm² y medir su peso utilizando la balanza

3.6.3.2. Procedimiento para determinar aportes

Se determinarán los aportes de adhesivo y tinta que contendrá el empaque.

- Tomar una muestra de 4 metros de largo de la bobina que únicamente ha sido impresa y guardarla para los procesos posteriores a la laminación.

- Una vez laminada la bobina, se tomará una muestra de 4 metros de largo.
- Sobreponer la muestra impresa y la muestra laminada sobre el mismo diseño, tomar la base de 25 cm² y realizar un corte sobre ambas muestras.
- Determinar la masa de cada una de las muestras.
- Limpiar cada una de las muestras con acetato de etilo.
- Utilizar las diferencias de masas para determinar los aportes de tinta y adhesivo.

3.6.3.3. Procedimiento para retorta, fuerza de bond y escaneo de integridad

Una vez producido el empaque, debe realizarse las pruebas antes y después de la retorta.

- Realizar un escaneo de integridad de retorta previa, mediante escaneo óptico de resonancia.
- Realizar un análisis de separación a cada una de las capas de la estructura del empaque mediante análisis de fuerza de bond.
- Realizar una medición de la cantidad de emigraciones de aire dentro del empaque. Se tomará un empaque no sellado y se llenará una cantidad de medida de oxígeno; posteriormente, se someterá el empaque sellado a la retorta (125 °C por 12 minutos) y se hará un recuento de la cantidad de oxígeno dentro del empaque.

- Someter el empaque a proceso de retorta (125 °C por 12 minutos).
- Realizar análisis de separación a cada una de las capas de la estructura del empaque.
- Realizar una medición de la cantidad de emigraciones de aire dentro del empaque.
- Observar la fuerza aplicada en dicho momento y reportar.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para la realización del proyecto se desarrolló un juego de tablas específicas para la toma de datos.

Tabla IV. **Propiedades de materiales previos a impresión**

Propiedades				
Capa evaluada	Micrometrage (µm)	Linaje (dinas)	Ancho (m)	Masa (g)
1				
2				
3				
4				
5				

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Escaneo de integridad

Adhesivo	Muestra	No. de muestra	Burbujas	Separación o desmetalizado
Sin solvente	Transparente	1		
		2		
		3		
	Metalizado	1		
		2		
		3		
Base solvente	Transparente	1		
		2		
		3		
	Metalizado	1		
		2		
		3		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Propiedades antes y después de retorta según nombramiento de material para adhesivo sin base solvente

(Esta colección de pruebas no tendrá repeticiones ya que su costo es elevado)

Muestra	Interfase	Antes de retorta		Después de retorta (inmersión)		Después de retorta (spray)		Emigración de aire (cc/100in ² /día)		
		Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond	Antes de retorta	Después de retorta (inmersión)	Después de retorta (spray)
Transparente	S/P1 (no impreso)	Pelado	División cohesiva	Pelado	División cohesiva	Pelado	División cohesiva			
	S/P1 (impreso)	Pelado		Pelado		Pelado				
	P1/S1	Pelado		Fallo estructural		Fallo estructural				
Metalizado	S/P1 (no impreso)	Fallo estructural	División cohesiva	Pelado	División cohesiva	Pelado	División cohesiva			
	S/P1 (impreso)	Pelado		Pelado		Pelado				
	P1/P2	Pelado		Pelado		Pelado				
	P2/S1	Pelado		Pelado		Pelado				

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Propiedades antes y después de retorta según nombramiento de material para adhesivo base solvente**

(Esta colección de pruebas no tendrá repeticiones ya que su costo es elevado)

Muestra	Interfase	Antes de retorta		Después de retorta (inmersión)		Después de retorta (spray)		Emigración de aire (cc/100in ² /día)		
		Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond	Antes de retorta	Después de retorta (inmersión)	Después de retorta (spray)
Transparente	S/P1 (no impreso)	Pelado	División cohesiva	Pelado	División cohesiva	Pelado	División cohesiva			
	S/P1 (impreso)	Pelado		Pelado		Pelado				
	P1/S1	Pelado		Fallo estructural		Fallo estructural				
Metalizado	S/P1 (no impreso)	Fallo estructural	División cohesiva	Pelado	División cohesiva	Pelado	División cohesiva			
	S/P1 (impreso)	Pelado		Pelado		Pelado				
	P1/P2	Pelado		Pelado		Pelado				
	P2/S1	Pelado		Pelado		Pelado				

Fuente: elaboración propia

4. RESULTADOS

Tabla VIII. **Propiedades de materiales utilizados para empaques retortables**

Propiedades de probetas utilizadas para empaques retortables				
Capa evaluada	Micrometraje (µm)	Densidad (kg/m³)	Ancho (m)	Masa (g)
Sustrato	12	1,4	0,8	16,8
Permeador	15	1,16	1,2	17,4
Sellante	80	0,905	1,20	72,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Escaneo de integridad de empaques retortables utilizados en el estudio**

Adhesivo	Muestra	Burbujas	Separación o desmetalizado
Sin solvente	Transparente	Sí	Sí
	Metalizado	No	No
Base solvente	Transparente	No	No
	Metalizado	No	No

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Solventes retenidos interfacialmente**

Delaminación filmica				
Interfase	Concentración (mg/m²)			
	1-Propanol	Etil acetato	n-Propil acetato	Dowanol DPM
Interfase 1	0,912	0,084	0,084	0,661
Interfase 2	1,02	0,102	0,121	0,797

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Propiedades antes y después de retorta según nombramiento de material para adhesivo sin base solvente**

Muestra	Interfase	Antes de retorta		Después de retorta (inmersión)		Después de retorta (spray)		Emigración de aire (cc/100in ² /día)		
		Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond	Antes de retorta	Después de retorta (inmersión)	Después de retorta (spray)
Transparente	S/P1 (no impreso)	Pelado 192	División Cohesiva 7 719 CS	Pelado 98	División Cohesiva 5 230 CS	Pelado 69	División cohesiva 5 368 CS	0,183	0,696	0,551
	S/P1 (impreso)	Pelado 218		Pelado 19		Pelado 17				
	P1/SI	Pelado 1 185		Fallo estructural 75		Fallo estructural 145				
Metalizado	S/P1 (no impreso)	Fallo estructural 402	División Cohesiva 8 015 CS	Pelado 47	División Cohesiva 5 094 CS	Pelado 120	División cohesiva 5 323 CS	0,063	0,179	0,232
	S/P1 (impreso)	Pelado 222		Pelado 36		Pelado 34				
	P1/P2	Pelado 106		Pelado 42		Pelado 27				
	P2/SI	Pelado 8 991		Pelado 163		Pelado 194				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Propiedades antes y después de retorta según nombramiento de material para adhesivo base solvente**

Muestra	Interface	Antes de retorta		Después de retorta (inmersión)		Después de retorta (spray)		Emigración de aire (cc/100in ² /día)		
		Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond	Antes de retorta	Después de retorta (inmersión)	Después de retorta (spray)
Transparente	S/P1 (no impreso)	Pelado 630	Sin fallo estructural	Pelado 23	Sin fallo estructural	Desgarro estructural 1 507	Sin fallo estructural	0,100	0,365	0,226
	S/P1 (Impreso)	Pelado 630		Pelado 23		Pelado 1 507				
	P1/SI	Pelado 737		Fallo estructural 570		Fallo estructural 1 585				
Metalizado	S/P1 (no impreso)	Pelado 551	Sin fallo estructural	Pelado 647	Sin fallo estructural	Pelado 336	Sin fallo estructural	0,041	0,101	0,115
	S/P1 (impreso)	Junteo 551		Pelado 647		Junteo 336				
	P1/P2	Fallo Estructural 685		Pelado 927		Pelado 680				
	P2/SI	Pelado 814		Fallo E. 1 435		Pelado 1 666				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Comparación de propiedades de bond antes y después de retorta según la composición del material**

No. de empaque	Adhesivo	Permeabilidad	Antes de retorta		Después de retorta (inmersión)	
			Simple bond	Completo bond	Simple bond	Completo bond
Normas básicas			185	6 550	N/A	N/A
1	Sin solvente	Simple	192	7 719	19	5 230
2	Sin solvente	Metalizado	106	8 015	36	5 064
3	Base solvente	Simple	630	Sin fallo	23	Sin fallo
4	Base solvente	Metalizado	551	Sin fallo	647	Sin fallo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Comparación de propiedades de emigración antes y después de retorta según composición de material

No. de empaque	Adhesivo	Permeabilidad	Emigración de aire (cc/100in ² /día)	
			Antes de retorta	Después de retorta (inmersión)
Normas básicas			0,2	0,425
1	Sin Solvente	Simple	0,183	0,696
2	Sin Solvente	Metalizado	0,063	0,179
3	Base Solvente	Simple	0,1	0,365
4	Base Solvente	Metalizado	0,041	0,101

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La producción de empaques para retorta no puede variar demasiado en comparación con un empaque promedio, esto debido a que el precio de cada empaque se elevaría dejando de ser rentable su producción. Los cuatro empaques a comparación fueron realizados bajo el mismo procedimiento, variando únicamente el adhesivo a utilizar y el agregado de una capa metalizada.

El objetivo primordial de la investigación fue el desarrollo de empaques para el proceso de retorta. Sin embargo, la forma de reacción del empaque, debido a la cinética química en los adhesivos utilizables que puede variar de acuerdo a los cambios térmicos en el proceso de retorta.

Es por ello que la primera variación dentro del empaque fue la del adhesivo a utilizar, el primero de ellos, adhesivos alifáticos libres de solventes, que son los utilizados en los empaques convencionales, el segundo de ellos, adhesivos alifáticos base solvente, el cual pertenece a las nuevas tecnologías de empaque.

La segunda variación consiste en la adhesión de una capa de metalizado adicional, los procesos de retorta, por ser de alta temperatura, tienden a degradar en pequeño grado la estructura del empaque; favorecen el intercambio de oxígeno, humedad y otros gases que son perjudiciales para los productos a empacar; las capas metalizadas laminadas en un empaque permiten reducir en gran manera la emigración de dichos gases.

Cuando un empaque está terminado, lo primero que debe realizarse es un escaneo de integridad, esto revelará separaciones, burbujas o cualquier falla en

alguna parte de la estructura se evita de esta manera, daños posteriores de mayor magnitud al empaque, o que puedan provocar pérdidas por descomposición en los alimentos empacados.

En la tabla IX se observa la comparación de los escaneos de integridad para las diferentes capas laminadas. Los empaques laminados con adhesivo sin solvente presentan problemas de burbujas en ambos casos, y solo para el empaque transparente, presenta separaciones. Los empaques laminados con adhesivo base solvente no presentan ningún problema de burbuja o laminaciones.

Cada uno de los adhesivos tienen su forma propia para ser secados o curados durante máquina; los adhesivos base solvente, como su nombre lo indica, utilizan solventes de arrastre para activar las partes adhesivas; el curado de este material se da mediante una serie de rodillos de aplastamiento a altas temperaturas, lo cual da como resultado, la liberación de los solventes por las altas temperaturas y la correcta distribución continua de las partes adhesivas a lo largo y ancho del lienzo laminado.

No obstante, el adhesivo sin solvente únicamente presenta una aplicación directa de las partes adhesivas; es sabido que, para una reacción química, siempre existirá un reactivo limitante y un reactivo en exceso, para este caso, el Liofol es el reactivo en exceso; que en caso de no reaccionar, tiende a agruparse y crear pequeñas acumulaciones que dan como resultado pequeños espacios sin adhesión y que fácilmente pueden provocar deslaminaciones y la aparición de burbujas.

Como se ha explicado anteriormente, los empaques flexibles se conforman mediante la laminación o unión de diferentes capas. Cada laminación es

independiente a las demás; sin embargo, la falla en cualquiera de ellas dentro de la estructura completa resulta en la falla del empaque, que podría ser desde un simple pelado o un intercambio de tintas, hasta una rotura total. En cualquiera de los casos, los empaques no pueden llevar imperfecciones que sean ópticamente visibles o que afecten la calidad de los alimentos empaquetados.

Además del análisis propio de cada una de las laminaciones, el empaque completo debe someterse a las mismas pruebas, pero con mayor exigencia; reflejan el trato común que un empaque promedio recibe desde que es fabricado y sellado con el contenido interno, transportes, apilamientos, posibles caídas, hasta que es utilizado por el consumidor final.

Es importante hacer el análisis propio de cada adhesivo para sus dos diferentes interfaces (simple y metalizado). Antes de analizar los resultados del proceso de retorta sobre las distintas capas, es necesario realizar un análisis previo; de esta manera es posible comparar el aumento o disminución de las propiedades que la retorta pueda afectar. Además, es posible ver como una segunda capa de permeación (P2) compuesta por una capa de laminado afecta directamente la estructura, antes y después de retorta.

En la tabla X, propiedades para estructuras con adhesivo sin base solvente, cuando se evalúa la fuerza de bond interfacialmente para ambas estructuras, es notable que para la estructura que cuenta con una doble laminación las fuerzas para su fallo o pelado tienden a ser mayores que las unilaminadas o con única capa permeable; cuando se realiza una laminación, es necesario calentar levemente los lienzos a laminar, esto con el fin de que los adhesivos se activen directamente sobre los lienzos de esta manera, se aumenta la fuerza de adhesión; además que se le hace pasar a través de un juego de rodillos que mantiene la presión directa entre los lienzos, dando como resultado,

la necesidad de una mayor fuerza de bond necesaria para la separación cohesiva como estructura completa.

Sin embargo, cuando se aplican los procesos de retorta correspondientes, es notable como la pérdida de propiedades se da de forma más marcada en la estructura bilaminada; esto debido a la presencia de la segunda capa de permeación; al tratarse de aluminio, absorbe de forma más rápida el calor de altas temperaturas además que lo conserva dentro de la estructura, creando ligeras descomposiciones dentro de la estructura del adhesivo, dando como resultado la caída de propiedades ante la estructura que únicamente tiene una capa de permeación.

No obstante, la propiedad más importante para este tipo de empaques es la emigración de aire, por ser alimentos; la cantidad de gases que puedan entrar o salir del empaque es crítico; el ingreso de oxígeno permite oxidaciones, la salida de gases provoca pérdida de olor y sabor en el producto. El empaque con estructura bilaminada presenta tanto antes como después de los procesos de retorta una menor cantidad de emigración de aire, colocando fácilmente la estructura bilaminada como la más factible para el proceso de retorta.

En la tabla XI, propiedades para estructuras con adhesivo base solvente, es muy marcado que las fuerzas de bond interfaciales son más elevadas que para las fuerzas de bond en estructuras de adhesivo sin base solvente; esto debido a que las bases solventes son mucho más reactivas y no requieren temperaturas elevadas para iniciar su activación; aun así, el proceso de adhesivos base solvente exige la evaporación de los solventes con presión adjunta; por lo que se utiliza un doble juego de rodillos térmicos para cumplir con la evaporación de solventes retenidos interfacialmente dentro del empaque.

Además, es necesario mencionar que tanto antes como después de los procesos de retorta, las estructuras con este adhesivo; superan las 9 500 unidades de fuerza bond sin fallo estructural, convirtiéndolo en la mejor opción en cuanto a soporte estructural se trata.

Es interesante observar que en cuanto al baño de retorta se trata, las propiedades de simple bond se elevan para la capa con metalizado; esto podría deberse a que el aluminio permite mantener una temperatura elevada, reactivando las bases adhesivas y eliminando restos de solventes retenido que provocan el aumento en la adhesión interfacial. Cuando se observa la emigración de aire, se nota que los valores de emigración no se elevan tanto de los valores originales previos a la retorta, siendo los menores valores aquellos correspondientes a la estructura con segunda capa de permeación.

Para tener una mejor visión de las propiedades para cada composición de empaques, está la tabla XII, la cual muestra la comparación simple para cada sistema, tanto de adhesivo como de permeabilidad. Para colocar el valor de simple bond para cada estructura, se selecciona la menor fuerza de soporte indistintamente de cual capa sea esta ya que es la menor fuerza que fue soportada por el empaque simple. Las mayores fuerzas simples y compuestas son las presentadas por los empaques con base solvente, incluso, en fuerza compuesta no hay fallo o deslaminado en el empaque.

Después del proceso de retorta, las mejores propiedades son las presentadas por la estructura con base solvente y capa adicional de metalizado, tanto simple como compuesto, en donde no se presentó rotura. En lo referente a propiedades de emigración de aire, las menores emigraciones son presentadas por la estructura con adhesivo base solvente y metalizado adicional, tanto antes

como después de retorta; hace de esta capa, la más efectiva para el trabajo con alimentos.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que el uso de un adhesivo base solvente mejora las propiedades ópticas y fisicomecánicas para los empaques a utilizarse en los procesos de retorta.
2. Se determinó que la implementación de una capa permeable adicional puede mejorar algunas de las características físicas, como la emigración de aire y vapores; sin embargo, puede provocar disminución en las fuerzas de bond.
3. Se compararon los resultados de cada una de las variaciones con los valores establecidos para la producción de empaques flexibles, todos los empaques cumplen con dichos valores; los mejores resultados son aquellos presentados por el adhesivo base solvente.

RECOMENDACIONES

1. Es necesaria la realización de un estudio de generación y emigración de enzimas aromáticas tanto interfacialmente en el empaque como para los alimentos contenidos en el empaque.
2. Se recomienda realizar un estudio de retorta para determinar cuál proceso de esterilización comercial es capaz de adaptarse y optimizar los resultados en los empaques utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AL-BAALI, Abdul Ghani. *Sterilization of food in retort pouches*, Estados Unidos: Springer, 2016. 450 p.
2. ARTICA TORREZ, Karen Ivet. *Análisis y mejora en el proceso productivo del área de impresión, laminación y slitter a través del aumento de la eficiencia como estrategia para el desarrollo sostenible en la empresa Polímeros y Tecnología S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 162 p.
3. CHICAS ROBLES, René Edmundo. *Diseño de implementación de un manual de seguridad e higiene industrial para Polímeros y Tecnología, S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 219 p.
4. EIS. *Obtención del PET.* [en línea]. <<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/pet/obtencionpet.html>> [Consulta:septiembre de 2016].
5. Empaque. *Empaques de PP.* [en línea]. <<http://www.tiposde.org/general/613-tipos-de-empaque/>> [Consulta: septiembre de 2016].

6. ESUMER. Slideshare. *Tipos de empaque y embalajes en la aplicación industrial*. [en línea]. <<http://es.slideshare.net/VirtualEsumer/tipos-de-empaques-y-embalajes-aplicacin-industria>> [Consulta: septiembre de 2016].
7. -----*.Extrusión de materiales plasticos*. [en línea] <<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>> [Consulta:septiembre de 2016].
8. FINLAYSON, Kier. *Plastic Film Technology*. Estados Unidos: Technomic Publishing, 1989. 396 p.
9. Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria. *Alteración de los alimentos*. España: Techno Work, 2002, 39 p.
10. KURARAY. *Propiedades Kurarister*. [en línea]. <<http://www.kurarister.com/en/properties/gas-barrier-properties-of-kurarister%E2%84%A2-cf/>> [Consulta: septiembre de 2016].
11. LOPEZ, Iván. *Empaques alimenticios*. España: Techno Works, 2004. 56 p
12. PLATEA. *Bases de adhesivos*. [en línea]. <<http://platea.pntic.mec.es/~aanderic/adhesi.htm>> [Consulta: septiembre de 2016].
13. PORTO PÉREZ, Julián. *Definiciones*. [en línea]. <<http://definicion.de/plastico/>> [Consulta: septiembre de 2016].

14. ----- . *Pruebas Kurarister.* [en línea].
<http://www.kurarister.com/media/17693/kurarister_a4.pd.>
[Consulta: septiembre de 2016].
15. ----- . *Que es el pet.* [en línea].
<<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PET/Q%20ES%20EL%20PET.htm.>> [Consulta: septiembre de 2016].
16. RAYMUNDO MARTÍNEZ, Diana Marissa. *Diseño de investigación en implementación del sistema HACCP en una línea de alimento de baja acidez termoprocesado, para garantizar su calidad e inocuidad como producto de exportación.* Trabajo de Graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 127 p.
17. SALAS, Ricardo. *Retort Technology*, Chile: Bemis, 2016. 58 p.
18. SÁNCHEZ MUÑOZ, Gustavo. *Imagen digital.* [en línea].
<<http://www.gusgsm.com/flexografia.>> [Consulta: septiembre de 2016].
19. ----- . *Tecnologías EVA.* [En línea].
<<http://www.eval.eu/media/56179/kurarister%20-%20introduction.pdf.>> [Consulta: septiembre de 2016].
20. *Tecnologías de plásticos. Tratamiento Corona.* [en línea]
<<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/05/tratamiento-corona.html.>> [Consulta: septiembre de 2016].

21. TRUJILLO, Carlos. SlideShare. *Tipos de empaque*. [En línea]. <<http://es.slideshare.net/ctrujillo10/empaque-149490>> [Consulta: 03 de septiembre de 2016].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Análisis estadístico**

Con el propósito de buscar la precisión y confiabilidad de los resultados, se calcula el número posible de observaciones que se debe tomar para alcanzar los objetivos de la investigación propuesta y que estos cumplan con un intervalo significativo de confianza; tratando de disminuir los posibles errores con un número de corridas adecuadas a evaluar.

Promedio

$$\bar{x} = \frac{\text{sumatoria de muestras}}{\text{número total de muestras}}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Donde:

- σ = desviación estándar
- x_i = valor de una muestra
- \bar{x} = promedio de todas las muestras
- n = número total de muestras

Continuación del apéndice 1.

- t- de Student

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

Donde:

- t = es el valor de la t de student
- μ = es el valor por evaluar
- \bar{x} = promedio de todas las muestras
- n = número total de muestras
- σ = desviación estándar

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Acondicionamiento de materiales

Sustrato				
Número de muestra	Micrometrage (μm)	Densidad	Ancho (m)	Masa (g)
1	12	1,4	0,8	16,8
2	12	1,39	0,8	16,9
3	12	1,4	0,8	16,9
4	12	1,4	0,8	16,7
5	12	1,38	0,8	16,7
<i>x</i>	12	1,394	0,8	16,8
Permeador				
Número de muestra	Micrometrage (μm)	Densidad	Ancho (m)	Masa (g)
1	15	1,16	1,2	17,4
2	15	1,163	1,2	17,4
3	15	1,158	1,2	17,4
4	15	1,16	1,2	17,45
5	15	1,16	1,2	17,45
<i>x</i>	15	1,16	1,2	17,42
Sellante				
Número de muestra	Micrometrage (μm)	Densidad	Ancho (m)	Masa (g)
1	80	0,905	1,2	72,4
2	80	0,900	1,2	72
3	80	0,91	1,2	72,3
4	80	0,905	1,2	73
5	80	0,905	1,2	72,4
<i>x</i>	80	0,905	1,2	72,42

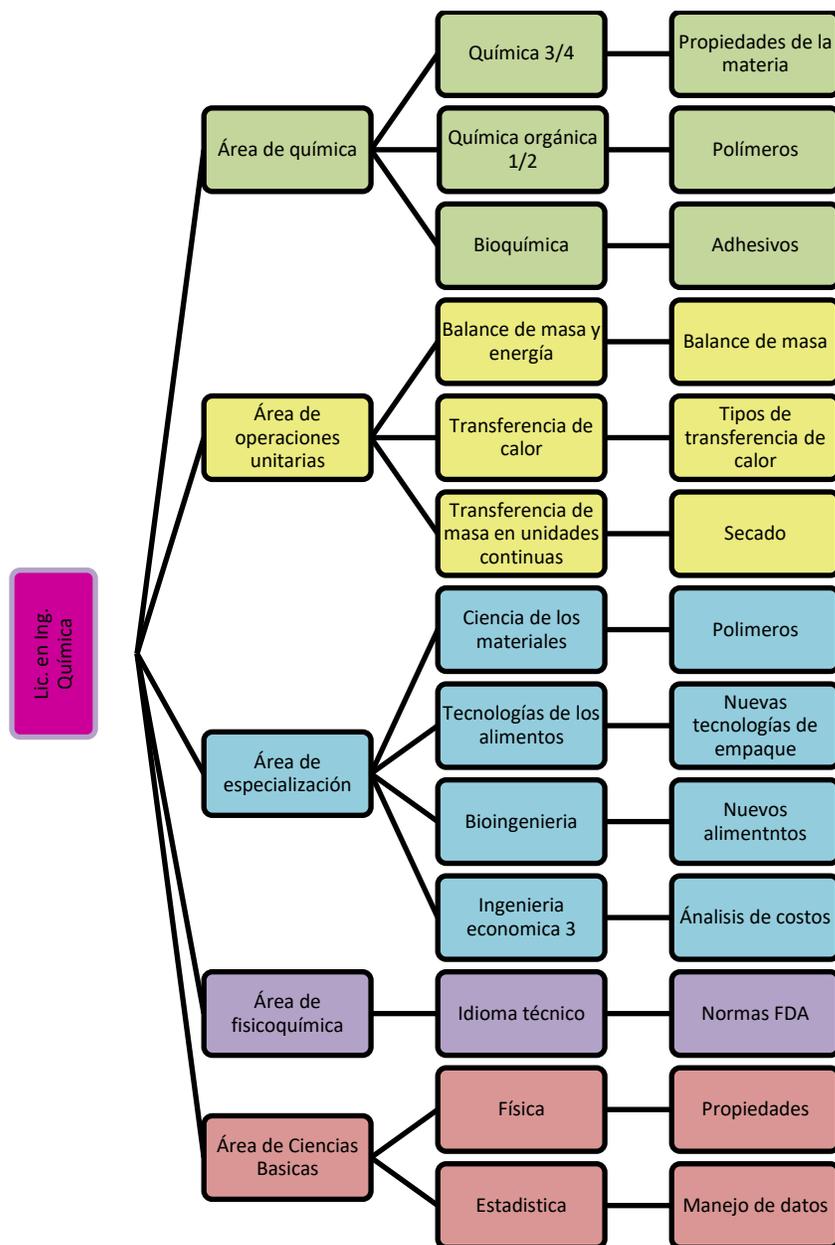
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Aparición de defectos

Adhesivo	Muestra	No. de muestra	Burbujas	Separación o desmetalizado
Sin solvente	Transparente	1	Sí	Sí
		2	No	Sí
		3	Sí	Sí
	Metalizado	1	Sí	Sí
		2	Sí	Sí
		3	Sí	Sí
Base solvente	Transparente	1	No	No
		2	No	Sí
		3	No	No
	Metalizado	1	No	No
		2	No	No
		3	Sí	No

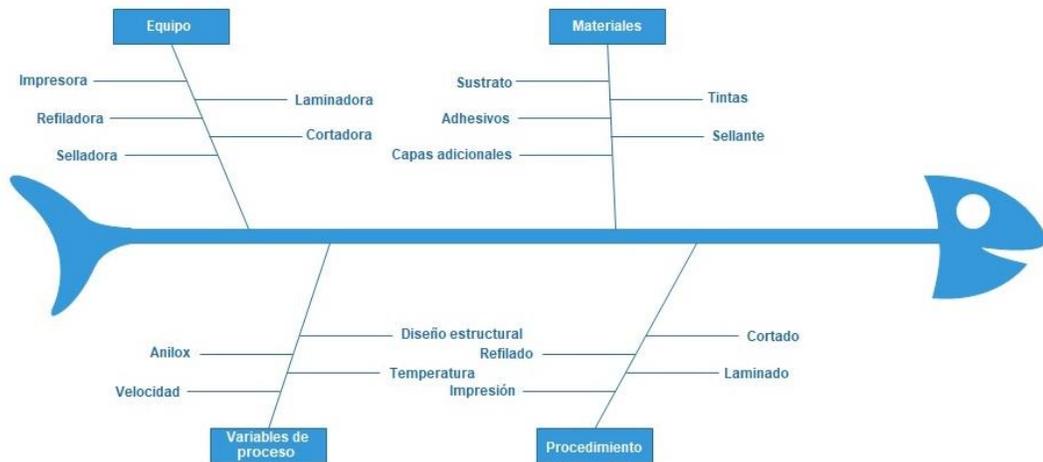
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.