



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER LA FÓRMULA Y TIEMPO ÓPTIMO, EN
LAS REACCIONES DE RETICULADO Y ESPUMADO, DE LA FABRICACIÓN DE SANDALIA
CON ETILENVINILACETATO Y CAUCHO NATURAL, AL USAR MOLDEO POR
COMPRESIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD**

Carmen Carolyn Sussette Roldán Lorenzana
Asesorado por M.A. Luz María Roldán Lorenzana

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER LA FÓRMULA Y TIEMPO ÓPTIMO, EN
LAS REACCIONES DE RETICULADO Y ESPUMADO, DE LA FABRICACIÓN DE SANDALIA
CON ETILENVINILACETATO Y CAUCHO NATURAL, AL USAR MOLDEO POR
COMPRESIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARMEN CAROLYN SUSSETTE ROLDÁN LORENZANA
ASESORADO POR M.A. LUZ MARÍA ROLDÁN LORENZANA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Julio Enrique Chávez Montúfar
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González 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:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER LA FÓRMULA Y TIEMPO ÓPTIMO, EN LAS REACCIONES DE RETICULADO Y ESPUMADO, DE LA FABRICACIÓN DE SANDALIA CON ETILENVINILACETATO Y CAUCHO NATURAL, AL USAR MOLDEO POR COMPRESIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

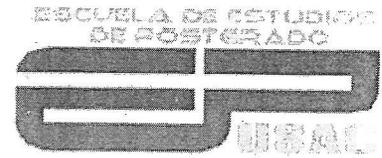
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 8 de noviembre del 2014.



Carmen Carolyn Sussette Roldán Lorenzana



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
 Teléfono 2418-9142 / 2418-8000 Ext. 86226

AGS-MGIPP-022-2015

Guatemala, 07 de mayo de 2016.

Director
 Carlos Salvador Wong
 Escuela de Ingeniería Química
 Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Carolyn Roldán de Rayo** carné número **89-16315**, quien optó la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Gestión Industrial**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

MAI. Inga. Luz María Roldán de Velásquez

ASESORA (a)
ING. QUÍMICA

Luz María Roldán L.
 COLEGIADA # 535

Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola
 Coordinadora de Área
 Gestión y Servicios

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos

Director

Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
 /la



Ref.EIQ.TG.057.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la estudiante, **CARMEN CAROLYN SUSSETTE ROLDÁN LORENZANA**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en GESTIÓN INDUSTRIAL** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER LA FÓRMULA Y TIEMPO ÓPTIMO, EN LAS REACCIONES DE RETICULADO Y ESPUMADO, DE LA FABRICACIÓN DE SANDALIA CON ETILENVINILACETATO Y CAUCHO NATURAL, AL USAR MOLDEO POR COMPRESIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davila
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre de 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale



Universidad de San Carlos
de Guatemala

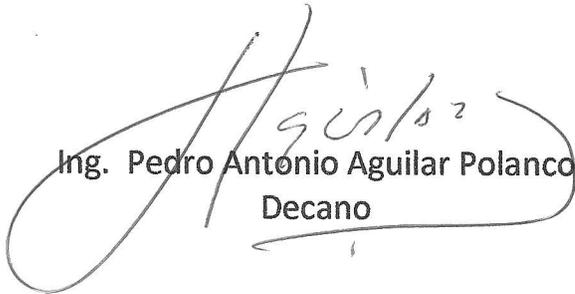


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 482.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA ESTABLECER LA FÓRMULA Y TIEMPO ÓPTIMO, EN LAS REACCIONES DE RETICULADO Y ESPUMADO, DE LA FABRICACIÓN DE SANDALIA CON ETILENVINILACETATO Y CAUCHO NATURAL, AL USAR MOLDEO POR COMPRESIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD,** presentado por la estudiante universitaria: **Carmen Carolyn Sussette Roldán Lorenzana,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de mi carrera de estudio.

Mis padres

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por creer en mí y amarme como lo hacen. Gracias por brindarme la oportunidad de mi educación, tanto académica, como de la vida; ellos me han inculcado mis principios y valores, enseñándome sobre el sacrificio y la perseverancia. Les doy gracias por su incondicional apoyo siempre, velando en todo momento por mi bienestar.

Mis hermanos

Por ser parte importante en mi vida y mantener en todo momento su apoyo y unión familiar. Cada uno de ustedes es un gran ejemplo para mí, he aprendido a luchar, a superarme, a trabajar duro.

Mi esposo

Tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo en todo momento dándome tu total apoyo; este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. Gracias, te amo.

Mis hijos

A quienes amo con todas mis fuerzas; quiero que se sientan orgullosos de su mamá por esta meta que estoy culminando. Les agradezco los alientos que siempre me demuestran y que me ayudan a continuar cuando me desanimo. Deseo que ustedes sean personas de bien, que sigan siempre adelante y cumplan las metas que se propongan en la vida, a pesar de cualquier adversidad.

**Toda mi familia, amigos
y seres queridos en
general**

Por su cariño y apoyo moral; por instarme siempre a continuar y demostrarme que están allí en los momentos que los necesito.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi centro de estudios y brindarme todos los conocimientos que han sido la base para desarrollarme profesionalmente.

**Facultad de Ingeniería y
Escuela de Ingeniería
Química**

Gracias a todo su claustro de profesores y docentes, que nos transfieren sus valiosas enseñanzas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PLOBLEMA.....	9
3.1. Descripción del problema.....	9
3.2. Formulación del problema	10
3.3. Preguntas auxiliares de investigación	10
3.4. Delimitación.....	11
3.5. Viabilidad.....	11
3.6. Consecuencia de la investigación	12
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	19
5.1. Objetivo general	19
5.2. Objetivos específicos.....	19
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	21
7. ALCANCE	23
7.1. Perspectiva metodológica.....	23
7.2. Perspectiva técnica	23

7.3.	Perspectiva de resultados	24
8.	MARCO TEÓRICO	25
8.1.	Calzado	25
8.1.1.	Sandalia: orígenes y evolución del zapato en general	25
8.1.1.1.	Egipcios.....	25
8.1.1.2.	Hiitas.....	27
8.1.1.3.	Persas.....	28
8.1.1.4.	Hebreos.....	28
8.1.1.5.	Griegos.....	29
8.1.1.6.	Romanos.....	30
8.1.1.7.	Clase de calzado usado en pueblos de Centroamérica y Suramérica.....	32
8.1.1.8.	Evolución del calzado a través de las épocas.....	33
8.2.	Evolución en la fabricación del calzado con el uso de nuevos materiales	34
8.3.	Industria	36
8.4.	Industrialización del calzado	36
8.5.	Industria del calzado en Guatemala	39
8.6.	Polímeros	40
8.7.	Clasificación de los polímeros sintéticos	41
8.8.	Polímeros termoplásticos y termoestables	43
8.9.	Caucho natural: polímero elastómero	44
8.10.	Propiedades de los polímeros - caucho	44
8.11.	Etileno acetato de vinilo: polímero sintético	47
8.12.	Mezclas poliméricas.....	49
8.13.	Mezcla polimérica EVA-CN: formulación estándar.....	51

8.14.	Copolímero EVA.....	51
8.14.1.	Agentes celulares o de expansión	51
8.14.2.	Agentes reticulantes	53
8.14.3.	Lubricante interno	54
8.14.4.	“Kicker” o activador del agente celular.....	54
8.14.5.	Cargas	54
8.14.5.1.	Tipos de cargas.....	55
8.14.5.2.	Clasificación de las cargas.....	55
8.14.5.3.	Factores que determinan la efectividad de una carga adicionada a un polímero.....	56
8.14.5.4.	Razones para adicionar cargas a polímeros.....	56
8.14.5.5.	Efectos de la incorporación de cargas..	57
8.14.6.	Otros aditivos.....	58
8.15.	Técnicas de procesado de espumas	58
8.16.	Técnicas de procesado de plásticos moldeados	59
8.17.	Moldeo por compresión y transferencia.....	60
8.18.	Proceso de entrecruzamiento – reticulado	60
8.19.	Mezclado mecánico en fundido	64
8.20.	Mecanismos de espumación de los polímeros	65
8.21.	Propiedades mecánicas de los polímeros	67
8.22.	Productividad.....	70
8.22.1.	La productividad como competencia de la administración.....	73
8.22.2.	Medición de la productividad	74
8.22.3.	Conceptos equivocados acerca del término productividad	74

9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	77
10.	METODOLOGÍA	81
10.1.	Tipo de estudio y diseño de investigación.....	81
10.2.	Variables e indicadores.....	82
10.3.	Procedimientos y técnicas.....	84
10.3.1.	Fase I: observación	84
10.3.2.	Fase II: exploratoria.....	85
10.3.3.	Fase III: experimental.....	86
10.3.3.1.	Subfase experimental I.....	87
10.3.3.2.	Subfase experimental II.....	87
10.3.3.3.	Subfase experimental III.....	88
10.3.3.4.	Subfase experimental IV.....	90
10.4.	Universo y muestra	93
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	95
11.1.	Medidas de tendencia central	95
11.2.	Indicadores.....	95
11.3.	Análisis de datos obtenidos.....	95
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	97
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	99
13.1.	Acceso a la información	99
13.2.	Disponibilidad de recursos	99
13.2.1.	Recursos humanos	99
13.2.2.	Materiales y equipo	100
	BIBLIOGRAFÍA.....	103
	APÉNDICE	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Calzado egipcio – sandalias.....	26
2.	Calzado de los hititas	27
3.	Calzado persa	28
4.	Calzado hebreo	29
5.	Calzado de Grecia.....	30
6.	Calzado de nombre caliga del ejército de Roma.....	31
7.	Ojotas o huaraches	32
8.	Sandalias usadas en Perú y Colombia.....	33
9.	Evolución del calzado.....	34
10.	Clasificación y propiedades de los polímeros sintéticos.....	42
11.	Esquema de las uniones en polímeros termoplásticos y termoestables	43
12.	Deformación de un elastómero en función de la fuerza aplicada	45
13.	Ejemplo de estructura del caucho natural	46
14.	Molécula de etilvinilacetato.....	47
15.	Clasificación de las mezclas poliméricas dependiendo de la forma de preparación.....	50
16.	Foto de celdilla abierta y cerrada de agente espumante.....	52
17.	Densidad aparente (Kg/m^3) en el caso de una espuma y una espuma integral.....	53
18.	Esquema de proceso de espumado por moldeo por compresión	59
19.	Dibujo de proceso por compresión de polímeros	60
20.	Ejemplo de entrecruzamiento.....	61

21.	Ejemplo de proceso de reticulación de una resina de poliéster insaturado	61
22.	Representación esquemática del proceso de entrecruzamiento reversible en elastómeros termoplásticos	62
23.	Fórmulas de esqueleto estructural simuladas de un polímero lineal (izquierda) y polímeros reticulares con densidad de enlaces cruzados baja (medio) y alta (derecha).....	63
24.	Listado de nombres de agentes esponjantes que se descomponen con calor y la aplicación en diferente polímeros, entre ellos el EVA	66
25.	Curvas típicas de tensión en función de la elongación para diferentes clases de polímeros	69
26.	Cronograma de actividades para el desarrollo del estudio del anteproyecto	97

TABLAS

I.	Variables dependientes e independientes	82
II.	Operacionalización de las variables.....	83
III.	Recopilación de datos de la subfase experimental II	87
IV.	Recopilación de datos de la subfase experimental III	89
V.	Recopilación de datos de la subfase experimental IV.....	90
VI.	Matriz comparativa de la fase experimental final contra las condiciones actuales.....	92
VII.	Recursos humanos	100
VIII.	Equipo	100
IX.	Recursos financieros y materiales estimados	101

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación focaliza su estudio directamente en una de las ramas de la industria del calzado, con una empresa nacional que produce sandalia, la cual no cuenta con procesos estandarizados ni ha realizado análisis para mejorar la productividad. Se detecta entonces, un punto de interés, pues la producción se hace como se ha realizado históricamente; por esto es necesario validarla y mejorarla evaluando propuestas de mejoras de fórmulas y estableciendo la más óptima en el proceso de moldeo por compresión de mezcla de etilenvinilacetato (EVA) y caucho natural (CN).

La importancia de este estudio radica en lograr ser más productivo en este proceso para esta fábrica industrial, obteniendo una fórmula más adecuada de producción, lo que permite una mejor rentabilidad y competitividad.

El proceso de utilizar el caucho natural combinado con EVA ha sido muy provechoso en la producción de calzado con suela, el cual tiene propiedades mejoradas en resistencia, porosidad, entre otros. Esta industria se ha desarrollado con las experiencias de hacer combinaciones de ambos compuestos, en las cuales las reacciones dan resultados específicos, cuando se cambian las variables de proceso.

El presente trabajo de investigación trae como resultado la evaluación de estas variables, específicamente en el proceso de reacción de esponjado y reticulación de la mezcla, con el fin de encontrar un punto óptimo donde el producto final cumpla con todo lo establecido.

La realización de este proyecto es viable, ya que se cuenta con el apoyo de la empresa para llevar a cabo las distintas fases de prueba experimental. El informe contendrá los siguientes cuatro capítulos:

En el capítulo uno se detallará la situación actual de la empresa referente al proceso de producción de sandalia para iniciar todo el análisis de información base.

En el segundo capítulo se establecen los distintos temas que conformarán el marco teórico general, para crear un panorama que permita comprender la lógica del problema; en este marco se detallan y amplían todos los conceptos establecidos por otros investigadores que serán de gran aportación para este trabajo.

En el tercer capítulo se desarrolla la propuesta de fórmula mejorada: se incluyen las distintas fases en el marco metodológico, ordenadas de tal forma que la fase siguiente se apoye en la predecesora y por tanto se logre un orden lógico en la resolución del problema. La concretización sistemática de cada una de las fases conduce a ensayar la solución planteada.

El análisis y discusión de resultados obtenidos en la fase experimental del levantamiento de los datos en el trabajo de campo se da a conocer en el capítulo cuatro; se analizarán los diferentes resultados para la propuesta de mejora.

2. ANTECEDENTES

El estudio realizado se enfoca en la aplicación de una mezcla polimérica para la formulación de producción de sandalia, por lo que en esta sección se presentan todos los datos e información recabada acerca de estudios que han sido realizado por otros autores, los cuales sirven de plataforma para apoyar el planteamiento del presente trabajo.

Los polímeros están en todas partes; en la naturaleza por ejemplo, en la proteína de los seres vivos, en la celulosa del papel, entre otros. También por medio del desarrollo científico y tecnológico de las últimas décadas se pueden obtener de forma artificial, gracias a sus propiedades eléctricas, físicas y mecánicas, los polímeros tienen múltiples aplicaciones industriales.

(Sempere Alemany, 2002) menciona que: “según las propiedades que se deseen modificar se han propuesto diversas mezclas de copolímeros EVA con otros polímeros. La incorporación de caucho natural cargado con sílice (Koshy, 1994, p. 17)”, así como también: “mediante análisis térmicos (Addonizio, 1991; Cassagnau, 1992 y Marín, 1991) se puede evidenciar la compatibilidad de las mezclas de EVA con otros polímeros, analizando los valores de temperatura de transición vítrea de los componentes por separado y de la mezcla” (p.18).

(Sempere Alemany, 2002) afirma que: “una de las características de las formulaciones de espumas microcelulares basadas en EVA es su sencillez, teniendo 6 o 7 componentes como máximo, que generalmente son dispersables entre sí, no utilizándose plastificantes líquidos”.

Las espumas microcelulares basadas en copolímeros EVA han surgido como alternativa a las microporosas de caucho en industrias como el calzado, ya que se consiguen propiedades generales equivalentes con una menor densidad, lo que significa una menor cantidad de material, así como una mayor resistencia a los productos químicos, grasas y aceites. Otra importante ventaja de las espumas microcelulares de EVA es que ofrecen ilimitadas posibilidades de coloreado, lo cual amplía la gama de productos a fabricar. Según la flexibilidad deseada para el producto final, y el contenido y naturaleza de las cargas y de la formulación, se utiliza un grado u otro de copolímero EVA (normalmente EVA con un 18 % en VA).

Es muy importante en los procesos de compresión que el peso molecular sea lo más elevado posible, con el fin de obtener propiedades mecánicas, así como una fina estructura celular. Los pesos moleculares óptimos son los correspondientes a índices de fluidez que oscilen entre 2 y 6 g/10 min (pp.20-21).

Algo muy importante que menciona (Sempere Alemany, 2002) es que: “dependiendo de las propiedades que se deseen modificar se pueden adicionar además materiales poliméricos, debido a que el EVA es muy compatible con la mayoría de los polímeros. De entre ellos, el más utilizado es el polietileno (PE)” (p.21).

“Se estudiaron algunas propiedades de espumas poliméricas, preparadas con mezclas de copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA) y caucho natural (CN) y se logró el procesamiento de espumas de mezclas EVA/CN a alta temperatura (170 °C) mediante la utilización de una ayuda de proceso, por su composición química atenuó algunos inconvenientes que surgen como resultado de la incompatibilidad de la mezcla y su interacción con los demás

componentes de la formulación industrial. El caucho natural (CN) por su estructura permite que en la reacción se presente un mayor entrecruzamiento en menor tiempo, lo cual puede no siempre traducirse en mejores propiedades mecánicas, dada la separación de fases y la diferencia en los mecanismos de reticulación de cada una de ellas” (Morales Rivera & Zulluaga Corrales, 2006, p.92).

(Billmeyer, 1973) es un autor que relata en su libro “Ciencia de los polímeros”, que estos se han usado por el hombre desde tiempos antiguos en su comienzo, pues el ser humano ha dependido de la naturaleza usando material animal y vegetal para su supervivencia y sustento, protección, calefacción y otras necesidades y deseos. Las resinas provenientes de las gomas naturales se han utilizado desde tiempos muy remotos; por ejemplo el ámbar lo usaron los griegos y el mastiche de goma los romanos; el asfalto también fue utilizado desde tiempos lejanos.

También el autor Billmeyer (1973) hace mención que aproximadamente desde 1800 fueron reconocidas en mayor parte las propiedades particulares y singulares que tienen los polímeros naturales.

La industria moderna de los plásticos comenzó con la utilización del caucho natural para gomas de borrar y en tejidos engomados unos años antes del descubrimiento de la vulcanización por Goodyear en 1839. En la década siguiente surgió tanto en Inglaterra como en Estados Unidos la industria del caucho. En 1951 el caucho endurecido o ebonita fue patentado y comercializado (pp.10-13).

Asimismo indica que el caucho natural tiene un grado de polimerización medio en número de alrededor de 5000 y una amplia distribución de pesos moleculares.

En 1969 se consumieron en los Estados Unidos cerca de 1300 millones de libras de caucho natural, aproximadamente el 22 % del consumo total de caucho en dicho período (p.397).

(Jin, 2005) también realizó un trabajo donde llevó a cabo la compatibilidad reactiva de mezclas de poliamida (PA)/etilvinilacetato (EVA) para la generación final de un TPV. Para la producción del TPV se realizó la selección de los diferentes materiales de partida (matriz, fase dispersa, agente compatibilizante y agente entrecruzante) y para compatibilizar la mezcla se funcionalizó etil-vinil-acetato (EVA) con anhídrido maleico (MAH) y 2,5-dimetil-2,5-Di-(ter-butilperoxi)hexano (DHBP) mediante mezclado reactivo en una extrusora doble tornillo; posteriormente se generó el termoplástico vulcanizado (TPV) con el mismo proceso de mezclado reactivo al mezclar EVA funcionalizado, EVA y PA con agente entrecruzante, con la finalidad de generar una fase dispersa cauchosa mediante el entrecruzamiento el EVA.

(Koshy, Kuriakose, Thomas, Premalatha, & Varghese, 1993) indican que: “estudian las características de las mezclas de caucho natural/copolímero de etileno-acetato de vinilo sin reticular y reticuladas con diferentes sistemas de curado: azufre, peróxido de dicumilo y un sistema de curado mixto, consistente en utilizar azufre y peróxido a la vez” (pp.901-912).

Otros autores también confirman que: “preparan mezclas de EPDM/EVA reticuladas mediante peróxido de bicumilo”. (Gosh, Tripathy, & Das, 1992 pp.1376-1394).

(Coran A, 1990, pp.599-612) y (Coran & Lee, 1992, pp.231-244) “reticulan dinámicamente mezclas de NBR y caucho acrílico”.

(Vogel & Heinze, 1993, pp.157-171) “preparan mezclas de polietileno de baja densidad (LDPE)/EVA mediante procesado reactivo, utilizando peróxido de dicumilo como agente de reticulación”.

3. PLANTEAMIENTO DEL PLOBLEMA

3.1. Descripción del problema

La empresa nacional en estudio no cuenta con procesos bien estandarizados y validados, ni ha realizado ningún análisis para mejorar su productividad en el proceso de moldeo por compresión para sandalia. El beneficio para la empresa será mejorar sus costos y poder ser más competitivos al determinar los valores óptimos de la fórmula del compuesto reticulante y esponjante, así como del tiempo de reacción; variables que ayudarán a obtener un producto terminado de calidad que mantenga las especificaciones de apariencia, propiedades físicas y mecánicas, y al mismo tiempo aumentar la productividad.

En el proceso de EVA prensado (moldeo por compresión de EVA) se llevan a cabo dos reacciones químicas muy importantes, las cuales son determinantes para lograr el mejor resultado de las propiedades del producto terminado; por tanto este estudio se enfocará en esta fase determinante del resultado.

Al tomar como base la observación sistemática del proceso productivo actual de sandalia, se puede razonar que existen deficiencias que pasan inadvertidas por la habitualidad y rutina diaria, o también porque hacer un cambio representa modificar aquella manera en la que se ha operado siempre en la empresa. Todas estas áreas de oportunidad pueden ser analizadas para desarrollar de forma experimental un mejoramiento de la fórmula, reducción del

tiempo y otros factores que sumados darán como resultado el incremento en la productividad.

En la industria guatemalteca, son pocas las empresas que se dedican a la transformación del material etilvinilacetato (EVA), usado en muchas aplicaciones domésticas, industriales, agrícolas, material educativo y otros. Por lo que el conocimiento y experiencia que se tiene en el país en esta industria, no es muy extensa; la experiencia se ha adquirido a través de prueba ensayo-error, por lo tanto los procesos varían de una industria a otra.

Esto conlleva a que el proceso de prensado de EVA tiene un grado de dificultad alto y no se tiene comprobado que las condiciones actuales del proceso de fabricación puedan mejorarse, pues se produce como se ha venido haciendo históricamente, obteniendo resultados aceptables.

3.2. Formulación del problema

De acuerdo con lo planteado anteriormente en la descripción de la problemática actual, se plantea la siguiente interrogante o pregunta central: ¿Cuál es la proporción de cantidad de material esponjante y reticulante necesaria como propuesta de fórmula mejorada, para lograr un proceso de prensado en EVA-CN satisfactorio, que cumpla con las propiedades de densidad y dureza establecidas?

3.3. Preguntas auxiliares de investigación

Es necesario responder a las siguientes preguntas para lograr obtener los resultados que conlleva la investigación: ¿Cuál es el tiempo de duración recomendable para la reacción de esponjamiento y reticulación en la mezcla de polímeros EVA-CN en un proceso de moldeo por compresión para sandalia?

¿En qué influyen los cambios en formulación para las propiedades físicas y mecánicas del producto final entre la fórmula actual utilizada y la propuesta de este trabajo, para el proceso de moldeo por compresión en la mezcla EVA-CN?

¿En qué porcentaje se reducirá el costo real del proceso de prensado de la mezcla EVA-CN con el ajuste de cantidad de agentes reticulante – esponjante y tiempo de reacción?

¿En qué porcentaje se aumentará la productividad por día al reducir los tiempos de reacción en el proceso de prensado de la mezcla EVA –CN?

3.4. Delimitación

El estudio se realizará en una fábrica industrial de la ciudad de Guatemala durante los meses de enero y febrero del 2016. Específicamente se trabajará en el área de investigación y desarrollo para realizar todos los ensayos y pruebas en un molde específico de sandalia y posteriormente en área de producción.

3.5. Viabilidad

Toda empresa conlleva muchas actividades y recursos, por lo que para plantear la solución se usará una metodología detallada. Se utilizarán varios recursos para esta investigación: información recabada asociada al proceso, observación, interacción con el proceso productivo, recurso de tiempo y recursos económicos para cubrir pruebas de producción (tiempos, mano de obra, equipo y materias primas).

Algunos recursos los debe brindar la empresa y otros el investigador; al tener ambos para llevar a cabo la investigación se puede argumentar viabilidad.

3.6. Consecuencia de la investigación

La resolución de la problemática identificada en este trabajo de investigación contiene aspectos positivos y negativos.

Dentro de los aspectos positivos está la viabilidad de optimizar la fórmula de producción actual de la sandalia; además, el trabajo tiene el enfoque de productividad para lograr el beneficio de la reducción de costos, lo que implícitamente trae consigo un incremento en las utilidades, optimizando los principales recursos. Otro aspecto a favor es que se podrán estandarizar los procesos de producción para favorecer el trabajo del operador y uniformidad en los resultados.

Sin embargo, desde la perspectiva del personal operativo, es necesario eficientar el proceso en el que se llevarán más controles, y para esto deberán hacerse varias pruebas; es algo que puede ser interpretado como un cambio que implica la explotación del recurso humano. Por tanto, debe ponerse especial atención en informar debidamente al personal, involucrar a puestos operativos y de supervisión, así como mandos superiores para detallar la forma de la metodología a usar, los registros, el porqué del uso, y el beneficio final que se obtendrá para la empresa; de esta forma se puede evitar cualquier oposición y retraso.

La mayoría de veces en donde se busca implementar algún cambio en las empresas, se presenta cierta indiferencia, desinterés, negatividad y molestia por parte del personal; por lo que la comunicación certera es indispensable para comprender de forma global que lo que se busca es obtener un buen resultado en el producto final usando menos recursos, por lo que el proceso se vuelve más eficiente.

Es necesario mencionar que al no llevarse a cabo esta investigación, la consecuencia mayor será que la empresa no tendrá ningún indicador real de cómo está operando y mucho menos cómo mejorar la producción de sandalia, pues el proceso será rutinario y usual y no se podrán conocer con certeza los sobrecostos en que se está incurriendo para su producción, por no validar sus parámetros de fórmula y tiempos, debidamente. De mantenerse en el mismo escenario, la fábrica no puede aplicar la mejora continua en sus debilidades y áreas de oportunidad.

4. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala hay varias fábricas que se dedican a la industrialización de diferentes categorías de calzado. La ausencia de mediciones y análisis es común en la mayoría de empresas en el sector del calzado en Guatemala, pero al aplicarlas permite enfrentar de mejor forma los retos que imponen los productos del extranjero, como son los de origen chino, que traen productos al país. Lo primordial es conocer en profundidad el producto y los procesos productivos, para poder analizarlos y detectar con mayor rapidez y precisión las causas de las variaciones en la producción y proceder a ejecutar las medidas correctivas, analizando cuidadosamente cada uno de los insumos y variables del proceso.

El presente trabajo de graduación se ha desarrollado sobre la línea de investigación de metodologías de producción de la Maestría en Gestión Industrial. Este plantea y ensaya una metodología para que a través de la ejecución sistemática de esta investigación, se logre analizar el proceso de producción y determinar cambios en el proceso y en la fórmula, que permitan obtener como resultado una mejor productividad, la cual brindará beneficios en reducción de costos, optimizando mejor los recursos.

La importancia de este trabajo radica en utilizar en la industria del calzado, los beneficios de la versatilidad de la goma EVA y su mezcla con el hule, para fabricar sandalias ligeras, en diversidad de colores llamativos; la fabricación de espumas de etileno – acetato de vinilo (EVA), está teniendo mucha aceptación debido a diferencias en costos.

En relación con otros productos, la goma EVA no presenta toxicidad y es reciclable, con el cual se pueden realizar varias clases de productos, por ser moldeable, de peso ligero y lavable; además no presenta bordes cortantes ni esquinas punzantes.

El interés y motivación del investigador en la elaboración del trabajo de graduación es que el problema planteado para su análisis va orientado a obtener el desarrollo de una solución concreta en un problema presente, en el giro diario de la empresa. En el que al ensayar la solución y al alcanzar los objetivos propuestos, prueba su necesidad dentro de la organización.

Dentro de las mejoras integradas, beneficios y beneficiarios se puede mencionar:

- El incremento de respuesta al cliente al otorgar un calzado más ligero, suave y flexible; esto brinda al consumidor más comodidad para su uso y mejor aceptación.
- Generación de economías de escala a través de la reducción de costos en los procesos.
- Optimización del uso de los recursos, lo cual brindará beneficios generales para la empresa y el producto final que llegará a los consumidores o clientes externos.
- Tener un proceso estandarizado y sistematizado de cómo producir sandalia para la empresa.

- Ofrecer productos con costos más competitivos en el mercado nacional para la empresa, brindando mayor rentabilidad.
- Simplificar las operaciones para el personal operativo, mientras más eficiente sea la producción en término de unidades producidas por unidad de tiempo, así lo será la compensación salarial por productividad.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Determinar la mejor propuesta de fórmula en el proceso de moldeo por compresión de mezcla de etilenvinilacetato (EVA) y caucho natural (CN), variando el agregado de agente esponjante y reticulante en la producción de sandalia, para reducir los costos de producción y mejorar la productividad, sin variar la especificación de densidad y dureza.

5.2. Objetivos específicos

- Medir diferentes tiempos de reacción de esponjamiento y reticulado en el proceso de moldeo por compresión de la mezcla EVA-CN (5 diferentes tiempos).
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del producto actual ya existente de EVA-CN y compararlas contra las propiedades del EVA-CN que utiliza la nueva formulación, por medio de la medición de dureza, tensión, abrasión, deformación por compresión y densidad del producto final, para mantenerlas igual o mejorarlas.
- Demostrar la reducción de costos de producción en el proceso de EVA-CN por moldeo por compresión.
- Establecer la mejora de productividad en el proceso de EVA-CN por moldeo por compresión.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En el proceso de moldeo por compresión de sandalia, utilizando una fórmula de mezcla de etilvinilacetato (EVA) y caucho natural (CN), se considera importante controlar y optimizar las siguientes variables:

- Tiempo de reacción
- Cantidad de agente reticulante
- Cantidad de agente esponjante
- Costos de producción mensual
- Incremento de la productividad

De esta forma es posible mejorar la productividad del área, específicamente en la producción de sandalia y además reducir los costos de producción, pues estarían reduciéndose los insumos de producción.

Otra necesidad a cubrir es mejorar las propiedades mecánicas y físicas del producto final de sandalia, una vez finalizado el presente estudio.

Se plantea un esquema de solución donde inicialmente se determinará la cantidad óptima de agente reticulante; luego, manteniendo constantes todas las demás variables, se determina la cantidad óptima de agente esponjante, para evaluar el mejor tiempo de reacción, velando siempre por mejorar las propiedades físicas del producto terminado.

7. ALCANCE

7.1. Perspectiva metodológica

Para dar solución al problema planteado en el presente tema de investigación, se determina utilizar un enfoque mixto cuantitativo-cualitativo, porque se manejan variables numéricas. Además se utiliza la observación, que es la técnica de recolección de información por excelencia para la descripción del proceso productivo con todos los elementos que lo conforman para realizar el análisis de las principales variables.

Se aborda este tema bajo el diseño de investigación descriptivo, porque se identifica bien el método de producción y los elementos involucrados; se definen las variables a medir, se recolectan datos para medir las variables de la unidad de análisis y se establecen indicadores en los cuales se obtendrán porcentajes; así se podrán determinar las mejoras y concluir.

7.2. Perspectiva técnica

En el presente estudio de investigación del proceso de moldeo por compresión para mezclas de polímeros EVA-CN se tiene muy poca bibliografía de este tipo de procesos industriales para optimizar formulaciones y tiempos de reacción; lo cual indica que se debe iniciar con un alcance exploratorio, porque se examinará un tema de investigación poco estudiado, siendo también de esta forma innovadores. De esta manera se pueden relacionar las variables de tiempo de reacción, con formulación de agente reticulante y esponjante, y así tener entonces un enfoque correlativo y explicativo para la obtención de la

reducción de costos e incremento en la productividad en la elaboración de sandalia para esta fábrica guatemalteca.

Dentro del estudio se tendrán algunas limitantes como la adaptabilidad de los empleados en el estudio y el tiempo para la investigación.

7.3. Perspectiva de resultados

A continuación se detallan los resultados esperados:

- Fórmula mejorada para la producción de sandalia, utilizando mezcla de EVA-CN bajo un proceso de moldeo por compresión, sin variar especificaciones establecidas.
- Tiempo óptimo de reacción para esponjamiento y reticulado menor que el utilizado antes del estudio.
- Producto de sandalia con un menor costo de producción, utilizando mezcla EVA-CN y proceso de moldeo por compresión.
- Mayor productividad para la unidad en análisis: (sandalias/lote), utilizando mezcla EVA-CN y proceso de moldeo por compresión.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Calzado

Según la Real Academia Española, calzado es todo género de zapato, borceguí, abarca, alpargata, almadreña, entre otros, que sirve para cubrir y resguardar el pie. El calzado es parte de la vestimenta del hombre desde la antigüedad, donde se usaba para proteger los pies de las variaciones del clima como calor y lluvia, así como del suelo; ahora se ha vuelto parte del diseño del vestuario por sí mismo.

Como menciona (Rothamel, 2012), se dice que actualmente se toman en cuenta aspectos anatómicos y estéticos para el proceso de fabricación y creación del calzado. El aspecto anatómico es muy relevante puesto que estas partes del cuerpo soportan el peso del cuerpo, dan equilibrio y transportan (p.1).

8.1.1. Sandalia: orígenes y evolución del zapato en general

La aparición del zapato data de las civilizaciones antiguas, protegía los pies y en cierta forma denotaba diferencias entre los individuos.

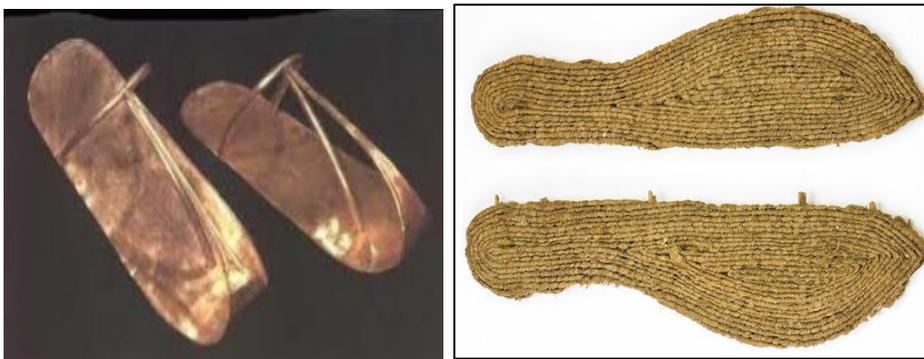
8.1.1.1. Egipcios

El primer calzado hallado data de 3 000 años antes de Cristo, en Egipto. “Los egipcios fueron la primera población en realizar lo que hoy se denomina calzado. Estos pueblos, comenzaron a fabricar sandalias para cuidar los pies del terreno, el calor y la erosión” (*The Bata Shoe Museum Collection*, 2010).

Su elaboración es simple, por tal razón este puede ser el motivo de que la sandalia se mencione en mucha literatura que se crea ser el primer calzado que se ha realizado; la sandalia aún es el tipo de calzado más utilizado en la actualidad sobre todo en países de clima cálido.

(Gonzalez Pérez, González Morales, & Barba Hernández, 2013) mencionan que los egipcios usaban sandalias cuya suela estaba fabricada de diversos materiales, siendo los más comunes el cuero, hojas de palmera que trenzaban, madera, a veces de tela, papiro y junco. También relatan que únicamente los sacerdotes portaban sandalias fabricadas con fibras de papiro. Además, en la realeza los faraones usaban sandalias que tenían en la suela las impresiones que ilustraban aquellos enemigos vencidos en la batalla, y eran sandalias muy lujosas y magníficas, en la cual la punta estaba elevada hacia el empeine (p.10).

Figura 1. **Calzado egipcio – sandalias**



Fuente: *The Bata Shoe Museum Collection*. p. 17.

8.1.1.2. Hiitas

(Reinoso, 2011) señala que: “Tanto en la civilización Sumeria, como en el imperio hitita se encontraron rastros de curtiembre de pieles; estos pueblos utilizaban grasa y colorantes naturales” (p.25).

También (Gonzalez Pérez, González Morales, & Barba Hernández, 2013) hacen mención que los hititas “se estima vivieron entre el 2 000 y 1100 antes de Cristo; eran habitantes de Anatolia, una región montañosa; se dedicaban al pastoreo. Conocían la forma de procesar el cuero de los animales y así fabricaron un zapato regio y fuerte, necesario en una región escarpada como la que habitaban” (p.11).

Figura 2. Calzado de los hititas



Fuente: GONZÁLEZ PÉREZ, Jorge; GONZÁLEZ MORALES, Eulher; BARBA HERNÁNDEZ, Gory. *Propuesta de mejora del proceso de elaboración de plantillas para zapato utilizando la metodología lean manufacturing en la empresa Avios, Guadalajara.* p. 11.

8.1.1.3. Persas

También se puede mencionar al pueblo persa, el cual tenía como uso un calzado del tipo de botín flexible que se ataba con correas, de forma anatómica, que llegaba a una altura corta a nivel del tobillo; tenía una especie de lengüeta sobre el empeine fijada con broches bordados con la figura de media luna; estaban hechos de cuero suave (Gonzalez Pérez, González Morales, & Barba Hernández, 2013, p.12).

Figura 3. Calzado persa



Fuente: GONZÁLEZ PÉREZ, Jorge; GONZÁLEZ MORALES, Eulher; BARBA HERNÁNDEZ, Gory. *Propuesta de mejora del proceso de elaboración de plantillas para zapato utilizando la metodología lean manufacturing en la empresa Avios, Guadalajara.* p. 12.

8.1.1.4. Hebreos

Ellos habitaron la península arábiga, entre 2 000 a.C. - 44 d.C. Erran pueblos pastores y se dedicaban a curtir el cuero y usaban en su mayoría de forma predominante las llamadas sandalias. Las sandalias de las mujeres estaban adornadas con metal que tenían cierto diseño que formaba una impresión en el suelo a cada paso, marcando el nombre de la persona en la suela.

Figura 4. **Calzado hebreo**



Fuente: GONZÁLEZ PÉREZ, Jorge; GONZÁLEZ MORALES, Eulher; BARBA HERNÁNDEZ, Gory. *Propuesta de mejora del proceso de elaboración de plantillas para zapato utilizando la metodología lean manufacturing en la empresa Avios, Guadalajara*. p. 12.

8.1.1.5. Griegos

Más adelante en Grecia y Roma fue donde se empezaron a ver distintos estilos de calzado, los que variaron según el estatus social y sexo.

El calzado más común en este periodo siguió siendo la sandalia. Estaban fabricadas con un diseño similar a la de los egipcios, de fibras vegetales y tiras que se entrelazaban al tobillo (Reinoso, 2011, p. 25).

Por lo tanto con el tiempo todo fue mejorándose, pues se perfeccionaron los insumos y el proceso para la construcción del calzado.

Además Reinoso (2011) hace mención que: en Grecia aparece una nueva tipología en el calzado que adoptaron del pueblo asirio, la bota. De la misma forma que la sandalia fue creada para cubrir el pie, la bota fue hecha para cubrir la pierna.

La misma comenzó siendo utilizada por los soldados para cubrirse tanto en batalla como en las largas caminatas” (p. 26).

De igual forma en su trabajo (Gonzalez Pérez, González Morales, & Barba Hernández, 2013) indican también que: los griegos construían normalmente dos clases de calzado, el cual usualmente portaban diariamente y otro para ciertas ocasiones en particular, siendo estas la sandalia y la bota, respectivamente, para caminos largos (p. 15).

Figura 5. **Calzado de Grecia**



Fuente: GONZÁLEZ PÉREZ, Jorge; GONZÁLEZ MORALES, Eulher; BARBA HERNÁNDEZ, Gory. *Propuesta de mejora del proceso de elaboración de plantillas para zapato utilizando la metodología lean manufacturing en la empresa Avios, Guadalajara.* p. 15.

8.1.1.6. Romanos

(Rothamel, 2012) menciona: “los romanos tenían el gusto por usar zapatos, pues el estar desnudos los pies era significado de esclavitud, lo cual creaba una separación de clases que otorgaba el calzado (al usar o ausencia del mismo). El calzado más común de este pueblo era un calzado muy simple

que constaba de una simple suela con tiras de cuero, a la cual le tenían por nombre “solea” (p. 11).

Por otro lado también el autor (Reinoso, 2011) cita lo siguiente: “(...) cuando el hombre estaba afuera usaba zapatos más pesados y cerrados que las sandalias. Los hombres libres no aparecían descalzos a no ser que fuesen extremadamente pobres y era descortés entrar a una casa con el calzado que se había utilizado afuera” (p. 26).

(Gonzalez Pérez, et al, 2013) señala que; “apareció la sandalia de nombre “caliga”, usada por los oficiales y soldados del ejército romano.

El emperador Cayo Julio César Augusto Germánico las llevaba de niño. Este señor pasaría a la historia con su más renombrado apodo: Calígula, que significa botas pequeñas” (p. 19).

Figura 6. **Calzado de nombre caliga del ejército de Roma**



Fuente: GONZÁLEZ PÉREZ, Jorge; GONZÁLEZ MORALES, Eulher; BARBA HERNÁNDEZ, Gory. *Propuesta de mejora del proceso de elaboración de plantillas para zapato utilizando la metodología lean manufacturing en la empresa Avios, Guadalajara.* p. 19.

8.1.1.7. Clase de calzado usado en pueblos de Centroamérica y Suramérica

(Ghelman, 2007) menciona sobre: “las culturas de las zonas central y sur de América, que tenían dos modelos de calzado para uso general: los alpargatas y las ojotas. Los llamados alpargatas eran un calzado construido con hierbas, las cuales las unían formando una trenza con una lona muy gruesa para formar la suela, este era originario de España y cuando los españoles llegaron al continente Americano, fue entonces cuando se adaptaron también en esta región.

El calzado, llamado cactli, cacle o huarache, que los españoles llamaron ojotas, también en la sociedad mostraban el rango que tenía la persona en ella.

Los españoles los llamaron zapatos de los indios, eran confeccionados con varios materiales de origen animal y vegetal (ixtle, cuero de venado, muy común también con cuero de jaguar.

Figura 7. **Ojotas o huaraches**



Fuente: *Ojotas*. www.revistadeartes.com.ar. Consulta: marzo de 2016.

Figura 8. **Sandalias usadas en Perú y Colombia**



Fuente: *Sandalias*. www.revistadeartes.com.ar. Consulta: marzo de 2016.

8.1.1.8. Evolución del calzado a través de las épocas

El calzado fue modernizándose y cambiando según las distintas tendencias de la historia, de acuerdo con la realeza, regiones, culturas o status social. Luego el calzado se volvió una parte muy importante de la vestimenta, se incorporaron conceptos de moda y el diseño para estos artículos de uso personal.

Cabe mencionar que muchos de los zapatos que se usan en la actualidad se remontan a otra época, pero también los zapatos en el pasado eran normalmente muy incómodos; hoy en día se ha evolucionado tanto en materiales para uso en calzado, que permiten mayor suavidad, comodidad, colores, texturas, entre otros; se utilizan materiales naturales y sintéticos. A continuación se muestra un resumen consolidado por Mejía Rodríguez (2008), quien en su trabajo de estudio de las pequeñas y medianas empresas en Guatemala cita lo siguiente:

Figura 9. Evolución del calzado

Año o época	Características de producción y materiales	Características de uso y diseño
Paleolítico superior	Técnicas de tratamiento de pieles de animales para su elaboración	Se utilizaban sólo cuando era necesario de lo contrario se colgaban al cuello
Epoca antigua	Producción insipiente, artesanal, uso de paja trenzada, papiro, láminas de palmera, pieles animales	Se utilizaban para protección del pie: sandalias para climas cálidos y mocasines en los lugares fríos
27 a.C. a 476 d.C. Imperio Romano	Producción artesanal, uso de distintos materiales, especialmente pieles de animales. En Guatemala se utilizaba la piel de jaguar, material muy apreciado por los guerreros mayas	Comienzan a ser usados con fines de distinción, cada clase social utiliza un tipo distinto (senadores en color blanco). En Guatemala, se utilizan los caítes y generalmente por las élites mayas
Siglo IV	Producción artesanal, se utilizan los mismos materiales	La sandalia es el calzado pro excelencia, siendo substituido por el calzado rudo confeccionado por los bárbaros
Siglo VII	Producción artesanal, utilización de los mismos materiales	Uso de polainas (calzado que deja al descubierto los dedos)
Siglo XII	Producción artesanal, utilización de los mismos materiales	Uso de babaruchas (zapato ligero y sin tacón usado por los moros)
Renacimiento	Industria incipiente y simple	Zapatos exageradamente anchos
Siglos XIII y XVII	Industria incipiente y simple. En Guatemala, con el arribo de los españoles, vienen con ellos sus artesanos zapateros	Zapatos poco cómodos y funcionales. Aparece el uso de tacón llegando a medir 13 centímetros de altura. En Guatemala calzado a la usanza del viejo mundo
Revolución industrial	Aparecen las máquinas de costura y otras que facilitan la fabricación.	Aparece la numeración en el calzado
Epoca moderna	Producción en serie, aparecen fábricas, mejora de técnicas	Uso generalizado, no sólo para protección del pie, sino con fines estéticos
Epoca contemporánea	El proceso de producción se organiza, y va incorporando sucesivas mejoras tecnológicas, entre las que cabe destacar: máquinas cortadoras cada vez más precisas, que permiten aprovechar mejor las materias primas; sistemas de curtido con disolventes químicos, que mejoran la calidad de los materiales; la aguja de acero, que soluciona el estrangulamiento del cosido, y las colas de tipo sintético, que rebajan los costes y mejoran la resistencia del producto terminado. Uso de materiales sintéticos. Iguales características en Guatemala	Uso generalizado, no sólo para protección del pie, sino con fines estéticos. Características iguales en Guatemala.

Fuente: MEJÍA RODRÍGUEZ, Brenda Elizabeth. *Estrategias de comunicación para el desarrollo de la pequeña y mediana empresa de calzado de la ciudad capital de Guatemala*. p. 15.

8.2. Evolución en la fabricación del calzado con el uso de nuevos materiales

Aquí el autor (Rothamel, 2012, pp.13,17) señala que: “en el período del Renacimiento (a partir del siglo XV) es cuando el arte de construir calzado fue más perfeccionado. Esta clase de industria zapatera fue incrementándose y los gremios colocaban estándares para sus artesanos; de esta forma, la calidad y la fabricación en sus etapas eran altas. Entonces, en las sociedades se observa cómo poco a poco fueron cambiando los materiales para elaborar calzado, ya

que el interés y exigencia de las personas era lo estético, resistente, bello, fino y también duradero.

En la década de 1960 se dieron los saltos más notorios en cuanto al vestido y los accesorios. El calzado más utilizado fue la bota, siendo los modelos más usados la “bota Beatle” y la “Granny”; para su fabricación; el cuero ya no era el único material para utilizar, sino se introdujeron nuevos materiales como los plásticos y vinílicos, así como también en algunos casos la pintura manual aplicada artesanalmente a los materiales.

Los zapatos no solo han evolucionado a la par de una de las actividades humanas más importantes como caminar, sino que además ofrecen claves sobre el estatus de la persona que los calza. Dentro de la historia del calzado puede apreciarse que han sido realizados con todo tipo de materiales, como sedas, o diseños en cueros texturizados en colores sólidos o estampados, cabretilas con brillantes, superficies metalizadas, perladas y pintadas, tejidos bordados con lana, hilos metálicos, superficies pintadas, encajes de seda metálicos, chenilla de algodón, en combinación con infinidad de formas de forrar tacones y bases en combinación de una multiplicidad de materiales utilizados para suelas como cueros de vaca, gomas o cauchos.

También el mismo autor (Ugalde Alvear, 2012, p.22) explica: “en el siglo veinte es cuando se empieza a experimentar con nuevos materiales para la fabricación del calzado, entre ellos, la utilización de goma para las suelas; es por eso que en 1971, fueron lanzadas las primeras zapatillas a la venta. La Revolución Industrial trae consigo la numeración del calzado, debido a la producción en masas, pues los zapatos necesitaban tener un taller para ser identificados. El inicio del siglo veinte trajo consigo varios cambios en la

industria del calzado, entre los más importantes está la adopción por parte de los jóvenes estadounidenses de los zapatos con suela de goma.”

En este trabajo de investigación se expondrá el uso de materiales de la categoría de los polímeros para el calzado tipo sandalia en una fábrica de la industria del calzado en Guatemala.

8.3. Industria

(Reyes Escalante, 1994) define la industria como una actividad económica que se caracteriza por la transformación de las materias primas, ya sean proporcionadas por la propia industria en etapas previas, por las ramas extractivas o por la agricultura. La actividad económica se refiere a los esfuerzos conscientes realizados por los hombres dedicados a la producción, distribución y consumo de bienes, así como la prestación de servicios.

También se hace referencia en el trabajo de investigación de (Castañeda Montenegro, 2003): “Aquella empresa que se dedica a la actividad económica transformativa de los insumos de materias primas orgánicas e inorgánicas, proporcionadas por la agricultura, ganadería, minería, piscicultura y cualquiera otra actividad económica denominada primaria. Este concepto debe entenderse como la habilidad y destreza que posee el hombre para transformar las materias primas en producto de consumo final e intermedio”.

8.4. Industrialización del calzado

Primero es importante describir qué abarca este concepto y se puede mencionar que se trata de un conjunto de actividades de diseño, fabricación, distribución, comercialización, y venta de todo tipo de calzado para el pie. Se

refiere en sí al conjunto de empresas que tienen la habilidad de hacer calzado, aplicando trabajo humano y tecnológico para la transformación de materias primas tales como: pieles, suelas, plásticos, polímeros, entre otros, para transformarlas en calzado, que satisfagan las necesidades básicas de calzado para el hombre.

El autor (Fischetti, 2010) hace notar temas importantes sobre la industrialización del calzado: “se dio un cambio importante cuando Thomas Penddlton se abocó a su manufactura para un público masivo. Generalmente el inglés es recordado más por haber confeccionado zapatos industrialmente por primera vez, que por otros aspectos que emergen del estudio de este episodio histórico: fue la primera vez que surgió la idea del calzado solo en el campo artesanal y la intuición, y se empezó a pensar en una técnica específica para dotar al dispositivo en cuestión de practicidad para que se desarrollaran con libertad de movimiento las tropas que deberían calzarlo.

Fue en 1642 cuando Thomas Penddlton proyectó y diseñó 4 600 pares, de los cuales 4 000 eran de zapatos y 600 de botas para el ejército imperial británico. Los cuerpos militares de aquella época comenzaron a demandar gran cantidad de botas y calzados, y que las mismas fueran funcionalmente satisfactorias para su necesidad de despliegue físico en cuanto a militares.

Penddlton es el gran precursor (impulsado por la necesidad material de un momento histórico-imperial determinado) de una nueva visión sobre el calzado que involucraría por primera vez al diseño y a la técnica, junto con la industria y la masificación de la producción. A mediados del siglo XIX estos nuevos requerimientos comienzan a ser satisfechos con máquinas para auxiliar en la confección de los calzados, con un lugar preponderante, todavía, de la máquina de costura. Pero la tendencia se acentuaría más en el siglo XX con la

complejización y desarrollo del mercado del vestuario que propondría nueva segmentación y búsqueda de nichos.

A partir de la cuarta década del siglo XX, transformaciones trascendentales comienzan a tener lugar en las industrias del calzado, como la sustitución del cuero por gomas y cauchos y también materiales sintéticos. Es probable que los trabajadores del señor Penddlton fabricaron los zapatos continuamente desde el inicio hasta su fin, pero en la industria moderna el proceso puede ser trabajado en *batch* o lotes, lo cual significa que puede ser interrumpido en varias etapas y/o distintas etapas.

El proceso de fabricación del calzado comienza su mecanización en la última parte del siglo XIX. En esta etapa se dan a conocer la aparición de los primeros equipos o máquinas de perforar, de cortar y de coser. Las cuales se mueven manualmente, y las más pesadas por tracción animal o por la fuerza hidráulica” (pp.9-10).

Así también se ha descrito información sobre la industrialización del calzado en otro trabajo realizado por el autor (Bértora, 2010), indicando lo siguiente: “La zapatería tradicional comenzó a cambiar en 1809 a partir de la Revolución Industrial”.

Las fábricas y la mecanización llegaron a esta gran industria después de 1850 con el objetivo de imitar y perfeccionar los procesos específicos de la mano del hombre.

Para ello resulta de suma importancia mencionar tres acontecimientos que resultaron significativos para el desarrollo e industria del calzado: en primer lugar, la adaptación de la máquina de coser de Howe, mediante la cual se

permitió perfeccionar las costuras; en segundo lugar, la invención de Lyman R. Blake, mecánico negro, quien originó la creación de un dispositivo para coser la parte superior de la suela, y por último, el perfeccionamiento por Charles Goodyear, en 1975, de la máquina de Auguste Deystouy Welt, la cual permitiría unir la parte superior y el lengüado del calzado. Las ventajas de estas máquinas alentaron la subdivisión de todos aquellos procesos que comprendían el armado, reduciendo hasta en un 80 por ciento el tiempo necesario para la fabricación del calzado” (p.19).

De esta forma cada país fue mejorando sus procesos y forma para industrializar la producción del calzado por medio de la industria. Así también se innovaron otras tecnologías y maquinaria dependiendo de las distintas líneas de calzado que hay: calzado de trabajo, casual o informal, formal, de vestir, colegial o calzado deportivo.

8.5. Industria del calzado en Guatemala

Se cuenta con información publicada en un artículo de la revista Industria y Negocios, donde la Gremial de Fabricantes de Calzado y Productos Afines, Grecaza, tiene los siguientes datos: “la industria de calzado de Guatemala genera más de 40 mil fuentes de empleo, y produce anualmente 32 millones de pares de zapatos” (CIG, 2015, p. 35).

También una cifra similar se menciona en el trabajo de Castañeda Montenegro (2003): “según datos proporcionados por la Gremial de Fabricantes de Calzado, adscrita a la Cámara de Industria de Guatemala; actualmente se producen en la economía guatemalteca 39 millones de pares de calzado en todos los tipos y estilos”.

“La industria de calzado de Guatemala genera más de 40 mil fuentes de empleo y produce anualmente 32 millones de pares de zapatos” (CIG, 2015, p. 35).

(Castañeda Montenegro, 2003) menciona también que: “según datos proporcionados por la Gremial de Fabricantes de Calzado, adscrita a la Cámara de Industria de Guatemala, actualmente se producen en la economía guatemalteca, 39 millones de pares de calzado en todos los tipos y estilos.”

Como se mencionó anteriormente, hay muchos materiales que se han estado utilizando para la fabricación del calzado; en este trabajo se hará énfasis en los materiales sintéticos del tipo polímero, pues se desarrollará una mejora en la fórmula para la producción de sandalia en una fábrica de manufactura local en Guatemala. Por tanto, a continuación se dará información más detallada de esta rama de materiales, luego se ampliará más sobre los materiales que se usarán en el presente estudio y toda la información que se encontró dentro de los procesos y formulaciones de mezclas de polímeros que se han realizado.

8.6. Polímeros

Un polímero es una sustancia compuesta de macromoléculas con largas secuencias de una o más especies de átomos o grupos de ellos, enlazados unos con otros por enlaces primarios, usualmente covalentes.

Los polímeros son pues moléculas gigantes constituidas por una multitud de unidades de repetición (unidad repetitiva) con peso molecular por lo menos 100 veces superior al de moléculas pequeñas. Los polímeros se pueden encontrar en forma natural o sintética. (Almanza Montero, 2000, p.1).

Se dice que un polímero es una gran molécula constituida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. Hay dos tipos de repetición, uno donde es lineal como formando eslabones y otro donde las cadenas forman ramas o se interconectan como retículos en tercera dimensión.

La unidad repetitiva del polímero es usualmente equivalente o casi equivalente al monómero que dio origen a la formación del polímero. La longitud de la cadena del polímero viene especificada por el número de unidades que se repiten en la cadena; este se llama grado de polimerización (DP). El peso molecular del polímero es el producto del peso molecular de la unidad repetitiva por el grado de polimerización; todo esto lo expone el autor (Billmeyer, 1973, pp.3-4).

Actualmente, los polímeros sintéticos han sustituido muchos otros materiales tradicionales como madera, cerámica o metales, que usualmente se usaban para la manufactura de varios productos y con el uso de los polímeros se ha dado más amplitud al desarrollo. Se tienen ejemplos diversificados en aplicaciones de los polímeros sintéticos en muchas ramas de la ciencia como medicina, agricultura, ingeniería, entre otros; dentro de los ejemplos está citar elaboración de válvulas cardíacas, prótesis, partes de vehículos, pelotas para deportes, cascos, objetos de uso cotidiano como utensilios del hogar, recipientes y calzado. Si se observa alrededor podrán visualizarse muchos artículos que están hechos con materiales poliméricos (López Carrasquero, 2004, pp.5-6).

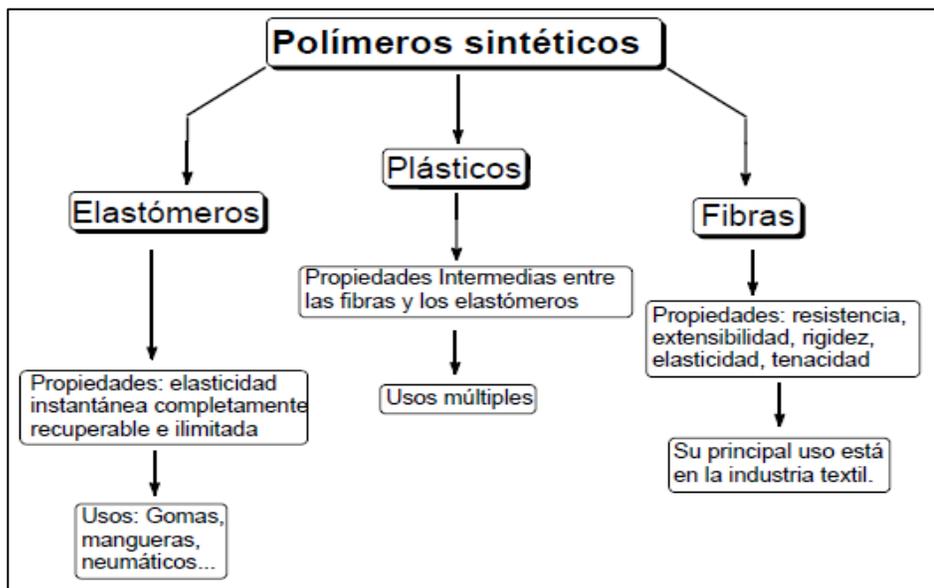
8.7. Clasificación de los polímeros sintéticos

(López Carrasquero, 2004) afirma que los polímeros sintéticos pueden clasificarse de una manera general como plásticos, fibras y elastómeros. Los

elastómeros son materiales cuya propiedad singular es poseer una elasticidad instantánea, tienen pesos moleculares altos (esto es primordial y principal para su utilización, puesto que todas las propiedades mecánicas como flexibilidad son conferidas por su peso molecular); la propiedad de elasticidad a altas deformaciones tiene la particularidad de ser completamente recuperable e ilimitada (pp.50, 53).

En la figura 10 se pueden observar la clasificación de los polímeros sintéticos.

Figura 10. **Clasificación y propiedades de los polímeros sintéticos**



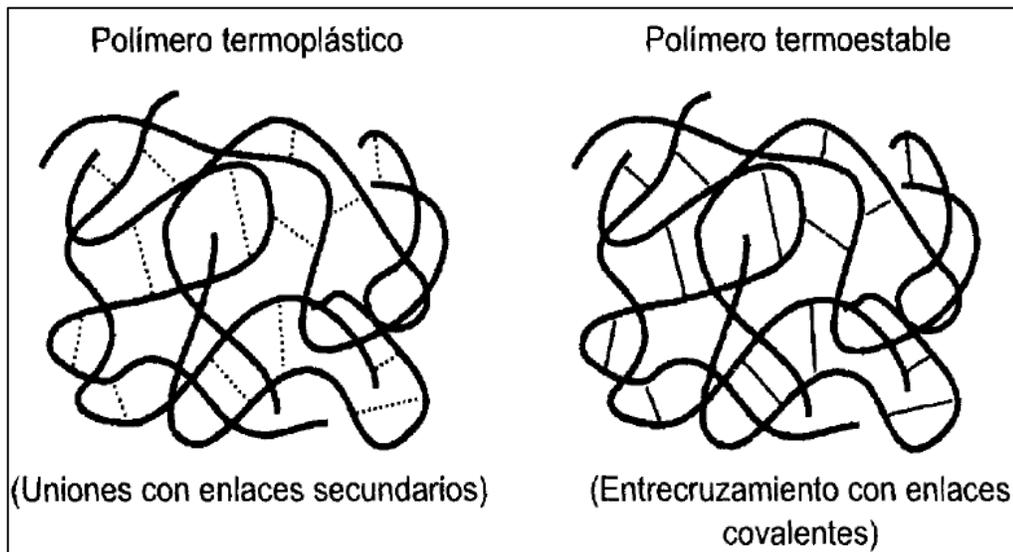
Fuente: LÓPEZ CARRASQUERO, Francisco. *Fundamentos de polímeros*. p. 50.

8.8. Polímeros termoplásticos y termoestables

Martínez, 2006 y Chang, 1993, consideran que los polímeros pueden ser termoplásticos, cuando se ablandan con calor y se endurecen por enfriamiento. Su estructura es similar antes y después del procesado (reversibilidad), hay interacciones físicas entre las cadenas poliméricas; los polímeros termoestables son aquellos que una vez procesados adquieren una estructura irreversible, es decir que la estructura entrecruzada no se ablanda por calor, habiendo interacciones químicas entre las cadenas poliméricas.

En la ilustración de la figura 11 pueden observarse las interacciones de los enlaces secundarios y covalentes.

Figura 11. **Esquema de las uniones en polímeros termoplásticos y termoestables**



Fuente: MARTÍNEZ, José Miguel. *Polímeros y adhesivos: un curso con diapositivas en power point*. p. 22.

8.9. Caucho natural: polímero elastómero

El caucho natural pertenece a los elastómeros y es un hidrocarburo de naturaleza olefínica, con gran número de enlaces etílicos que forman una cadena de isoprenos cuya fórmula es: C_5H_8 . El caucho natural puede obtenerse de casi quinientas especies diferentes de plantas. La fuente más destacada es el árbol *Hevea brasiliensis*, del que procede el nombre del caucho de Hevea (Billmeyer, 1973, p. 397).

El caucho se obtiene del árbol por medio de un tratamiento sistemático de "sangrado", de donde se recoge el látex, jugo lechoso que fluye lentamente de la herida del árbol. El látex contiene de 30 - 36 % del hidrocarburo del caucho. El caucho se presenta en el látex como partículas discretas, las cuales son estabilizadas por la presencia de proteínas y fosfolípidos; pero después de varias horas de haber realizado la toma, las reacciones de bacterias y enzimas con las proteínas, principalmente, hacen que disminuya la estabilidad del látex.

Es una secreción irreversible, o producto de desecho del árbol, y cuanto más se extrae, tanto más la planta lo regenera. El caucho es producido en el protoplasma por reacciones bioquímicas de polimerización catalizadas por enzimas (Molina, 1983, p. 7).

8.10. Propiedades de los polímeros - caucho

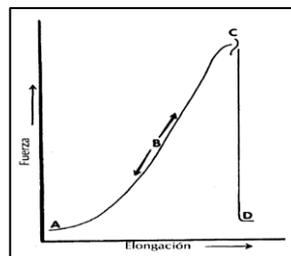
Las propiedades de los polímeros no solo están relacionadas con su naturaleza química, sino también con factores tales como la distribución y magnitud de la cristalinidad, la distribución de longitudes de cadena, la naturaleza y cantidades de aditivos, como las cargas, refuerzos y plastificantes, por nombrar algunos. Estos factores modifican en alguna medida prácticamente

todas las propiedades de los polímeros, tales como la dureza, la resistencia al desgarrar, inflamabilidad, resistencia a la intemperie, resistencia química, las respuestas biológicas, la confortabilidad, apariencia, rigidez, duración de su flexibilidad, retención de humedad, entre otras.

Los elastómeros son altos polímeros que poseen enlaces cruzados de naturaleza química o física. Para su aplicación industrial, su temperatura de utilización debe situarse por encima de la T_g (para permitir movilidad de "cadena"), y su estado normal (no estirado) será amorfo.

La fuerza de recuperación después de un alargamiento se debe en su mayor parte a la entropía. Cuando un material es estirado, las cadenas aleatorias se ven obligadas a ocupar posiciones más ordenadas. Al cesar la aplicación de la fuerza, las cadenas tienden a volver a un estado de mayor desorden. La movilidad total real de las cadenas deberá ser baja. El material vuelve a su forma original después de deformarse debido a sus enlaces cruzados. Esta propiedad se denomina a menudo "memoria elástica" (Dekker, 1995, pp.47- 48). En la figura 12 se muestra la representación gráfica de la deformación de un elastómero:

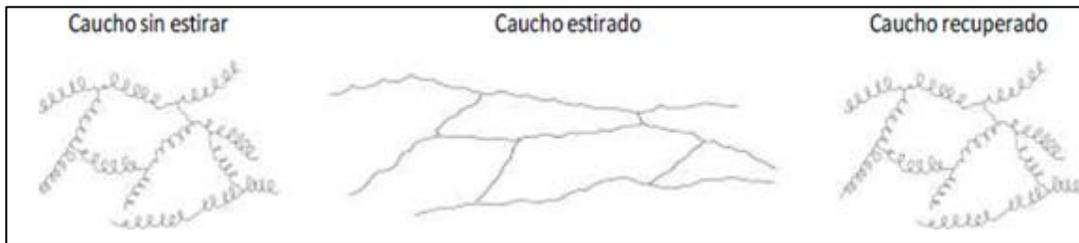
Figura 12. **Deformación de un elastómero en función de la fuerza aplicada**



Fuente: DEKKER, Marcel. *Polymer chemistry, an introduction*. p. 48.

En la figura 13 se muestra la ejemplificación de los enlaces del polímero de caucho natural.

Figura 13. **Ejemplo de estructura del caucho natural**



Fuente: elaboración propia.

El presente trabajo presenta un estudio de las mejoras de productividad y costos en proceso industrial de fabricación de sandalias, usando mezclas de copolímero EVA con caucho natural, producido en el país.

Se escoge esta mezcla, porque el caucho natural es de bajo costo y Guatemala es un país productor, y ambos materiales, a pesar de ser de diferente naturaleza pueden ser compatibilizados a través de la utilización de un agente de entrecruzamiento.

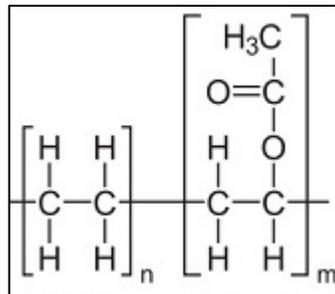
El caucho natural (CN) por sus características químicas puede ser reticulado con otros para producir materiales útiles en diversas aplicaciones “principalmente en la industria del calzado y elementos deportivos” (Morales Rivera & Zulluaga Corrales, 2006, p. 83).

“Las mezclas de polímeros permiten la obtención rápida y económica de nuevos materiales con mejores características que los materiales individuales” (Gallego, López, & Gartner, 2006, p. 61).

8.11. Etileno acetato de vinilo: polímero sintético

El etileno acetato de vinilo (más conocido como EVA) es el copolímero de etileno y acetato de vinilo, en la figura 14 se observa la composición de la molécula.

Figura 14. Molécula de etilenvinilacetato



Fuente: elaboración propia.

Los copolímeros EVA comenzaron a sintetizarse industrialmente hace aproximadamente 40 años. Estos copolímeros se obtienen por reacción a alta presión entre los monómeros etileno y acetato de vinilo. Las propiedades de los copolímeros EVA dependen fuertemente de su contenido en acetato de vinilo (VA), presentando un ordenamiento al azar de los monómeros de VA dentro de la cadena polimérica, de manera que las unidades monoméricas se disponen estadísticamente, sin seguir un orden determinado en la cadena (Sempere Alemany, 2002, pp.12-13).

(León Castillo, 2000) expone también lo siguiente respecto de este polímero: “los materiales como el EVA son adecuados como materiales base para artículos expandidos reticulados.

En este tipo de material puede observarse una combinación de propiedades interesantes:

- Favorable precio de costo por volumen
- Debido a la alta flexibilidad del compuesto, puede obtenerse una variedad de propiedades físicas.

Estructura: el polietileno de baja densidad es un termoplástico parcialmente cristalino, con una compleja estructura química, formada por repetición de grupos (-CH₂-CH₂-) con algunas cadenas laterales etilénicas.

El número y longitud de estas cadenas laterales determina el grado de linealidad de la estructura, y por tanto, la cristalinidad del polímero resultante. Esta cristalinidad proporciona rigidez al polímero debido al empaquetamiento molecular, originándose la “lechosidad” típica del polietileno, por la diferencia de los índices de refracción de las partes amorfa y cristalina.

Se ha observado experimentalmente que en los copolímeros EVA cuyo porcentaje en vinilacetato (VA) oscile entre 24 % y 28 %, existe un equilibrio entre las propiedades que dependen del contenido cristalino y amorfo. Este equilibrio es de gran importancia en cuanto a la compatibilidad de los EVA en mezclas con otros polímeros (pp.1-2).

Propiedades: las propiedades de los copolímeros EVA dependen fundamentalmente de dos factores: peso molecular y contenido de acetato de vinilo. El peso molecular, lo mismo que en el caso del polietileno y otros polímeros, determina el comportamiento del flujo en estado fundido, las características mecánicas y la resistencia química en general. Se mide a través del índice de fluidez con el cual está íntimamente relacionado.

De forma general, las características principales que aumentan conforme el contenido de VA son:

- Densidad
- Claridad
- Permeabilidad
- Solubilidad
- Flexibilidad, especialmente a bajas temperaturas
- Compatibilidad con otros polímeros y resinas
- Aceptación de cargas

Por el contrario, disminuyen con el aumento en contenido de VA, las siguientes:

- Rigidez
- Punto de reblandecimiento
- Dureza superficial

8.12. Mezclas poliméricas

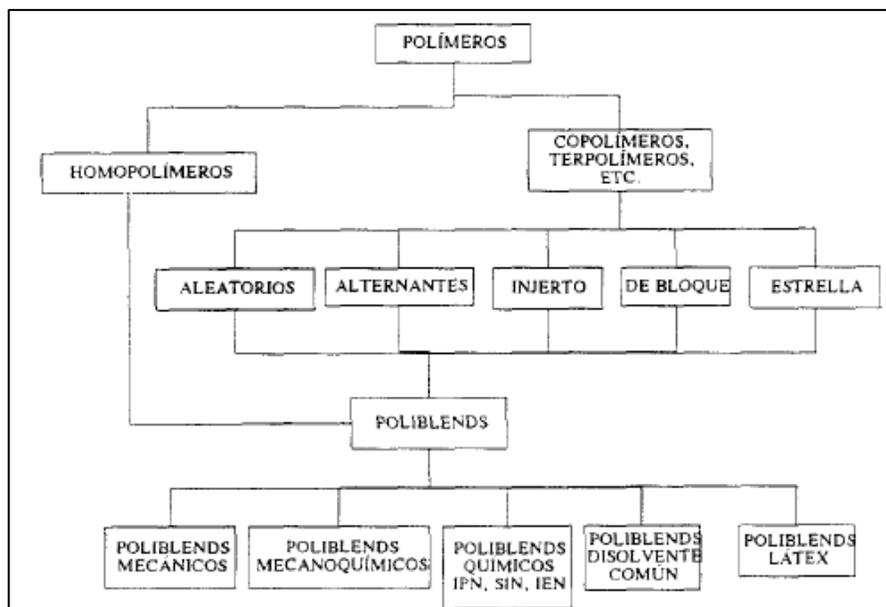
(Luengo Rico, 1993) explica que las mezclas poliméricas pueden ser de homopolímeros diferentes estructuralmente, copolímeros, terpolímeros, entre otros, pudiendo ser aleatorios, alternantes, de bloque, de estrella y de longitud, tal como el material constituyente tenga existencia a nivel polimérico.

En la figura 15 se clasifican las mezclas de polímeros en función de la forma de preparación. Una mezcla polimérica mecánica se hace mezclando los distintos polímeros en un extrusor o recipiente completamente abierto al exterior y deben estar en estado fundido; para esto la temperatura de proceso debe ser

superior a la temperatura de transición vítrea conocida como T_g , de cada uno de los materiales constituyentes en las mezclas de polímeros amorfas o la temperatura de fusión T_m para mezclas que contengan polímeros semicristalinos.

Las mezclas poliméricas comerciales disponibles son principalmente mecánicas. Una mezcla química se consigue por polimerización *in situ* y el resultado es una red polimérica de entrecruzamiento interpenetrada de polímeros (IPN), redes poliméricas interpenetradas simultáneas (SIN) y redes elastoméricas interpenetradas (IEN).

Figura 15. **Clasificación de las mezclas poliméricas dependiendo de la forma de preparación**



Fuente: LUENGO RICO, Gustavo. *Mezclas de polímero: estudio de su compatibilidad*. p. 33.

8.13. Mezcla polimérica EVA-CN: formulación estándar

Una formulación estándar de una espuma microcelular de EVA-CN consta de los siguientes componentes (Sempere Alemany, Estudio de los procesos de reticulado, espumado y descomposición térmica de formulaciones industriales de copolímeros de EVA y PE: métodos cinéticos, 2002, pp.20-40):

8.14. Copolímero EVA

Según la flexibilidad deseada para el producto final, y el contenido y naturaleza de las cargas y de la formulación, se utiliza un grado u otro de copolímero EVA (normalmente EVA con un 18 % en VA). Es muy importante en los procesos de compresión que el peso molecular sea lo más elevado posible con el fin de obtener buenas propiedades mecánicas, así como una fina estructura celular. Los pesos moleculares óptimos son los correspondientes a índices de fluidez que oscilan entre 2 y 6 g/10 min.

8.14.1. Agentes celulares o de expansión

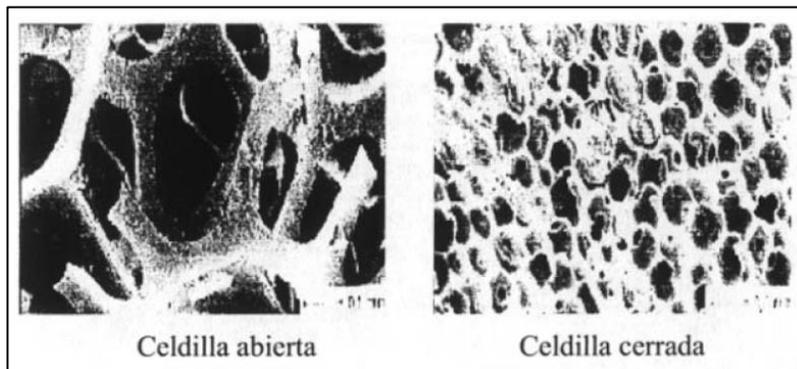
Entre estos pueden mencionarse la azodicarbonamida, dinitrosopentametilentetramina, azobis (isobutironitrilo), entre otros. Así también, (Martinez, 2006, pp.225-226) menciona en su trabajo que hay agentes espumantes y son las burbujas que ocupan la mayor parte del material (hasta 95 % burbujas).

Tipos de espumas: revisar la referencia gráfica de las fotografías de las siguientes celdas en la figura 16:

- Celdilla abierta: las burbujas de gas están comunicadas entre sí.

- Celdilla cerrada: las burbujas de gas están aisladas entre sí (cada una tiene su “cavidad” individual).

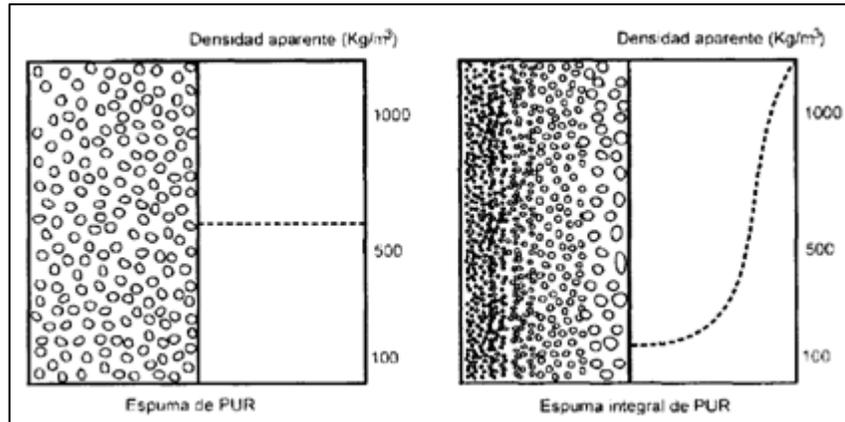
Figura 16. **Foto de celdilla abierta y cerrada de agente espumante**



Fuente: MARTÍNEZ, José Miguel. *Polímeros y adhesivos: un curso en diapositivas de Power Point*. p. 226.

- Espumas: tienen las celdillas uniformemente distribuidas en toda la sección, densidad uniforme en toda la espuma.
- Espumas integrales: tienen una distribución asimétrica de celdillas (capa exterior muy densa, que va haciéndose menos densa hacia el interior). En la figura 17 se muestra un ejemplo de cómo pueden verse las espumas dependiendo de su densidad aparente.

Figura 17. **Densidad aparente (Kg/m^3) en el caso de una espuma y una espuma integral**



Fuente: MARTÍNEZ, José Miguel. Polímeros y adhesivos: un curso en diapositivas de Power Point. p. 226.

Además, (Martinez, 2006, p. 227) afirma que para la espumación de los polímeros se tienen espumas termoestables, las cuales corresponden a resinas poco reticuladas en la que se crean burbujas que durante la reticulación se ocluyen en el seno de la espuma; y las espumas termoplásticas, en donde se funde el polímero antes de espumarse, y las burbujas se producen al solidificar la masa fundida durante el enfriamiento.

8.14.2. Agentes reticulantes

Entre estos se pueden citar los dibenzoilperóxido, dilauoilperóxido, di(terbutilperóxido)-diisopropilbenceno y dicumilperóxido. Según (Martínez, 2006, p. 218) dentro de los agentes de curado están los peróxidos que se activan mediante bombardeo con electrones, radiación y o radiación UV.

8.14.3. Lubricante interno

El ácido esteárico o sus sales metálicas son los más utilizados.

Según (Martínez, 2006, p. 231) estos agentes son de ayuda al procesado, pues evitan que los polímeros se aglomeren y se peguen a la maquinaria durante su proceso de fabricación, facilitan el desmoldeo de las piezas fabricadas. Se aplican en la superficie del molde (externos) o en la formulación del polímero (internos).

La adición de agentes lubricantes suele reducir la viscosidad del polímero durante su procesado y la fricción interna entre las cadenas del polímero.

8.14.4. “Kicker” o activador del agente celular

La función de dichos agentes es rebajar la energía de activación de la reacción de descomposición del agente espumante. Los activadores normalmente utilizados son compuestos de metales de transición, aminas, amidas y glicoles, siendo lo más efectivos los óxidos, ésteres, sales o complejos orgánicos de Zn, Cd y Pb. Ejemplos típicos de activadores son el ácido esteárico, óxido de zinc, estearato de zinc y dietilenglicol.

8.14.5. Cargas

La adición de cargas se utiliza en primer lugar para reducir costes, y en segundo lugar, para conferir ciertas propiedades características como un aumento de la dureza y una mayor resistencia a la abrasión. Dichos compuestos suelen ser carbonato de calcio, caolines, sílices, silicatos, entre otros.

Adicional, (Martinez, 2006) proporciona información de los tipos de cargas y su clasificación (p.180).

8.14.5.1. Tipos de cargas

Estas pueden ser naturales o sintéticas.

- Naturales: serrín, minerales (arcillas, CaCO_3)
- Sintéticas: esferas de vidrio, sílices pirogénicas

8.14.5.2. Clasificación de las cargas

- Relleno (carga inerte): material relativamente inerte que se incorpora al polímero para modificar su resistencia mecánica, estabilidad, propiedades de uso, o para reducir su precio. Pueden ser materiales orgánicos o inorgánicos.
- Ejemplos: el CaCO_3 es una de las cargas más comunes; natural (caliza) o precipitado (sintético); superficie específica entre 2 y 18 m^2/g ; tamaños de partículas entre 0.6 y 10 micras.
- Aplicaciones:
 - Aditivos de pinturas, plásticos y elastómeros.
 - Relleno de PVC, poliolefinas, espumas de poliuretano, resinas epoxi y resinas fenólicas.
 - Carga inerte en adhesivos y sellantes.

- Refuerzo (carga activa o aditivo reológico): material que adicionado a un polímero mejora enormemente las propiedades mecánicas o reológicas. Ejemplos: sílice pirogénico y negro de carbón.

Las cargas se pueden modificar superficialmente para mejorar sus prestaciones:

- Evitar la formación de aglomerados entre las partículas de carga: estearatos.
- Facilitar las interacciones con los polímeros (reología): silanos y titanatos.

8.14.5.3. Factores que determinan la efectividad de una carga adicionada a un polímero

- Tamaño de partícula (<5 micras))
- Distribución de tamaños de partícula
- Superficie específica
- Química superficial
- Absorción de aceites
- Relación de aspecto (*aspect ratio*)
- Precio
- Factores medioambientales

8.14.5.4. Razones para adicionar cargas a polímeros

- Disminuir costes
- Modificar las propiedades reológicas
- Mejorar las propiedades mecánicas
- Impartir comportamiento ignífugo

- Impartir color

8.14.5.5. Efectos de la incorporación de cargas

- Efectos de la adición de cargas a polímeros:
 - Aumentar la viscosidad
 - Incrementar la dureza
 - Disminuir la contracción durante el curado
 - Incrementar la resistencia a la temperatura

Otro ingrediente que puede adicionarse a la fórmula para darle una característica especial al producto final son los pigmentos, (Martínez, 2006, pp.216,218), los cuales pueden ser:

- Pigmentos orgánicos
 - Negros de carbono
 - Azules y verdes de ftalocianina
 - Colorantes azoicos: rojos de pirazolona, amarillos de tolilo
 - Dioxacinas (violeta)
 - Indantreno (rojo)
 - Azul Victoria
 - Rojos de rodamina orgánicos
- Pigmentos inorgánicos
 - TiO_2 : pigmento blanco
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (ocres): pigmentos amarillos, rojos, negros, marrones.

- Sales de plomo (amarillo, naranja, rojo)
- K_2CrO_4 : pigmento amarillo
- Cr_2O_3 : pigmento verde
- CdS: pigmento amarillo

8.14.6. Otros aditivos

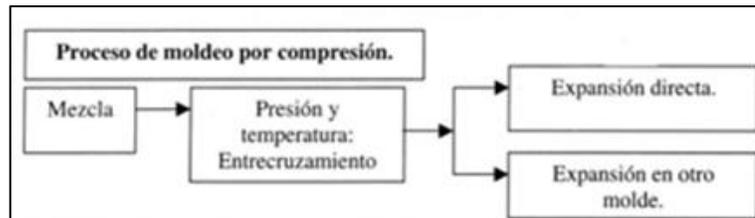
El autor (Martínez, 2006, pp.220-221) menciona otro tipo de aditivos como los agentes antiestáticos:

- Agentes antiestáticos: la mayoría de los polímeros son aislantes eléctricos, pero se cargan electrostáticamente durante su uso, se adicionan por razones estéticas (acumulación de polvo), o por razones técnicas (rodamientos, toboganes, daños a equipos o usuarios). Los agentes antiestáticos incrementan la conductividad superficial de los polímeros, facilitando la eliminación de cargas estáticas acumuladas.
- Los agentes antiestáticos internos: se incorporan en la masa del polímero, actúan migrando continuamente a la superficie. Se pueden mencionar los compuestos de amonio cuaternarios, hidroxialquilaminas, fosfatos orgánicos, derivados de alcoholes polihídricos.

8.15. Técnicas de procesado de espumas

Las técnicas que hoy en día se utilizan en el procesado de las espumas de poliolefinas son: expansión a partir de nitrógeno gaseoso, extrusión a partir de líquidos, proceso semicontinuo con entrecruzamiento por irradiación, moldeo por compresión e inyección, entre otros. (Almanza Montero, 2000, p.6). Observar el esquema de la figura 18 como ejemplificación.

Figura 18. **Esquema de proceso de espumado por moldeo por compresión**



Fuente: ALMANZA MONTERO, Ovidio Amado. *Polímeros espumados con base de polietileno y copolímero etileno acetato de vinilo: generalidades y estructura celular.* p. 6.

Más a detalle el autor (Martínez, 2006, pp.244-246), menciona una amplia gama de técnicas de procesamiento de plásticos moldeados:

8.16. Técnicas de procesamiento de plásticos moldeados

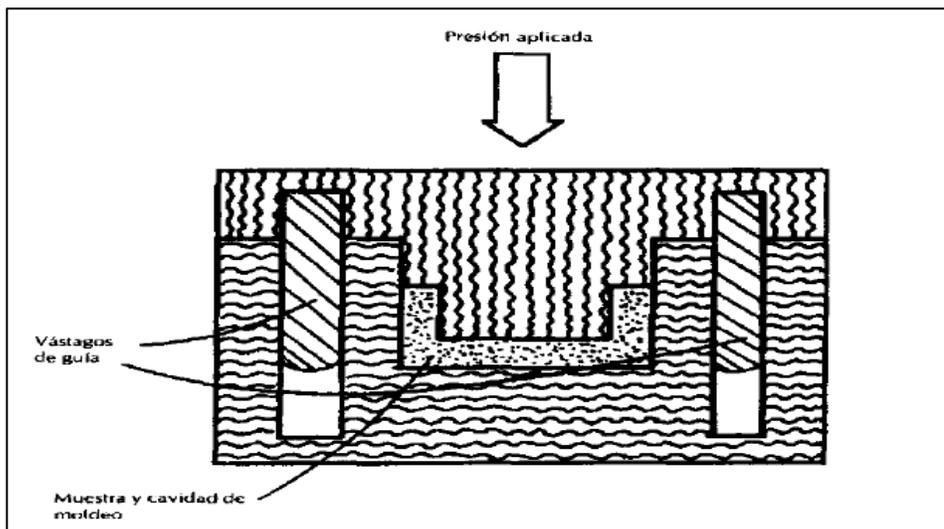
El moldeo puede darse por:

- Compresión
- Transferencia
- Inyección
- Soplado
- Vacío con tapón
- Rotación
- Disolventes
- Colado

8.17. Moldeo por compresión y transferencia

El primero consiste en el calentamiento de un polímero en polvo en un molde bajo presión; el segundo es parecido al primero, pero lo único es que al polímero se le calienta hasta formar una masa viscosa antes de llegar al molde + aplicación de presión moldeo de piezas de formas complicadas.

Figura 19. Dibujo de proceso por compresión de polímeros



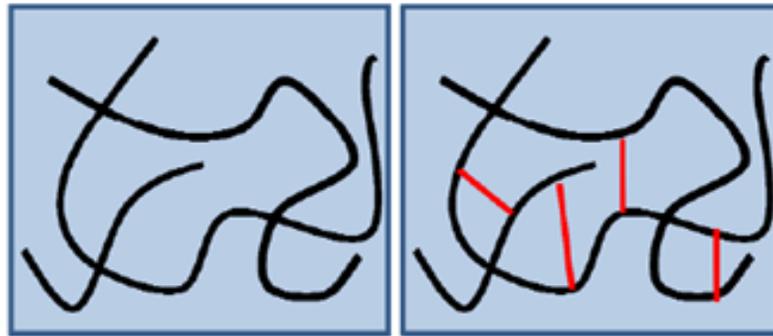
Fuente: MARTÍNEZ, José Miguel. *Polímeros y adhesivos: un curso en diapositivas de power point*. p. 245.

8.18. Proceso de entrecruzamiento – reticulado

El entrecruzamiento (ver figuras 20, 21 y 22) es un enlace químico entre cadenas de polímero adyacente. El enlace puede ser un grupo de átomos de azufre en una cadena corta, un átomo simple de azufre, un enlace carbono-carbono, un radical orgánico polivalente, un grupo iónico, o un ion metálico

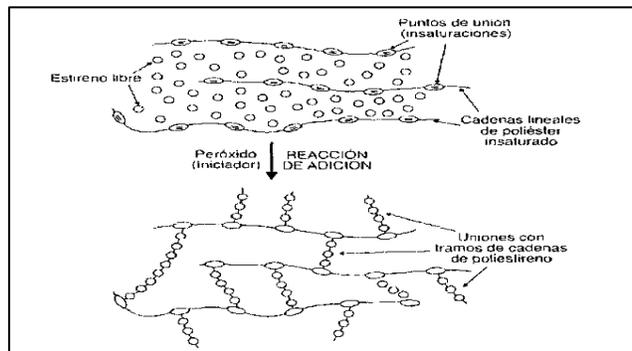
polivalente. Cuando las cadenas de polímeros son entrecruzadas pierden alguna de sus capacidades para moverse como una cadena individual; la fuerza retráctil aumenta luego de ejercer deformación al material polímero, y la cantidad de deformación permanente disminuye después de remover la fuerza aplicada. (Chen, 2012, pp. 27-28).

Figura 20. **Ejemplo de entrecruzamiento**



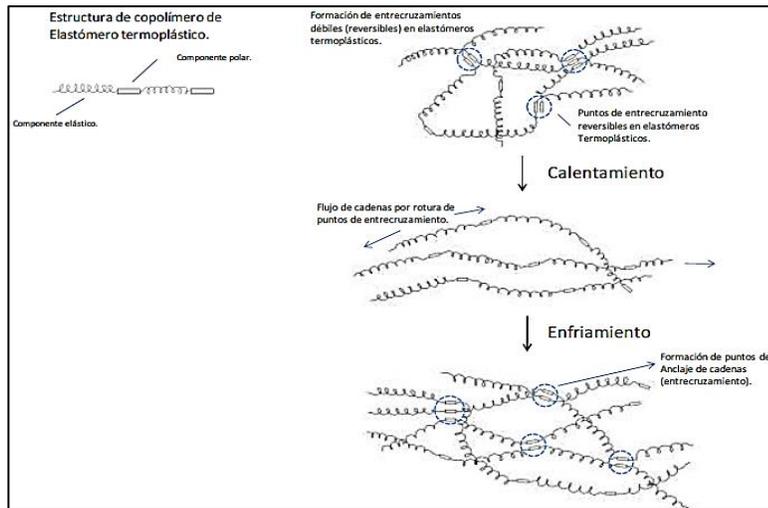
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

Figura 21. **Ejemplo de proceso de reticulación de una resina de poliéster insaturado**



Fuente: MARTÍNEZ, José Miguel. *Polímeros y adhesivos: un curso en diapositivas con Power Point.* p. 21.

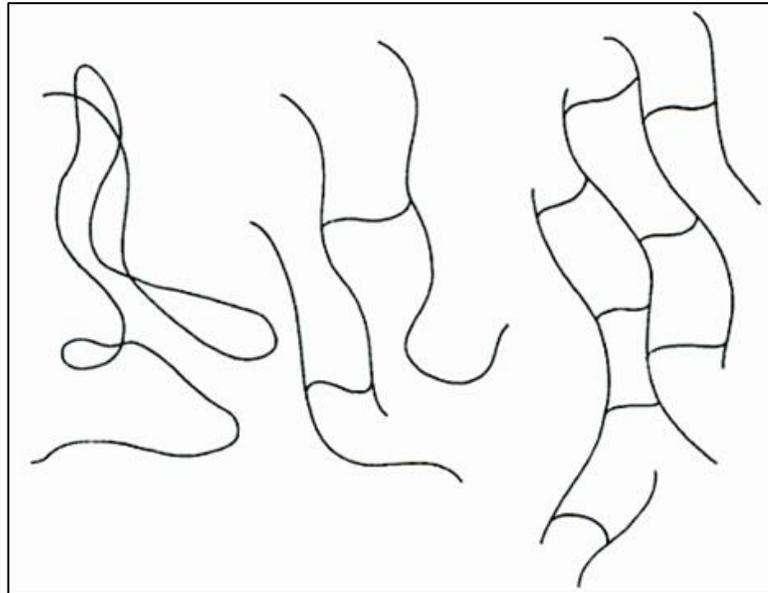
Figura 22. **Representación esquemática del proceso de entrecruzamiento reversible en elastómeros termoplásticos**



Fuente: JUÁREZ VARON, David; BALART GIMENO, Rafael; FERRÁNDIZ BOU, Santiago & GARCÍA SANOGUERA, David. *Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos*. p. 5.

En general, la reticulación de baja densidad aumenta la viscosidad del polímero; la reticulación de viscosidad intermedia hace que el polímero tenga algunas propiedades elastoméricas; y la reticulación de alta densidad causa que se vuelva rígido o cristalino. (Ver figura 23).

Figura 23. **Fórmulas de esqueleto estructural simuladas de un polímero lineal (izquierda) y polímeros reticulares con densidad de enlaces cruzados baja (medio) y alta (derecha)**



Fuente: DEKKER, Marcel. *Polymer chemistry, an introduction*. p. 24.

El primer método comercial de reticulado fue desarrollado para caucho natural con azufre en Springfield, Massachusetts, en 1841, con el fin de hacer el caucho lo suficiente fuerte y mantener su forma a una deformación larga. Hoy en día, varias técnicas han sido aplicadas en el reticulado de materiales plásticos y de caucho.

Para elastómeros de poliolefina, existen 3 tipos principales de procesos de entrecruzamiento: reticulado físico con electrones o radiación gamma, reticulado químico con agentes tales como peróxido y reticulación de silano. (Chen, 2012, pp.27-28).

8.19. Mezclado mecánico en fundido

El método industrial más empleado en la preparación de mezclas consiste en el uso de una extrusora de husillos, debido a que presenta la ventaja de ser un proceso continuo donde las operaciones básicas son: mezcla de compuestos, extrusión, reticulación y expansión (Escoto Palacios, 1995, pp.21,22).

En la extrusión, los polímeros son introducidos en forma de granza sólida por medio de una tolva, y son empujados hacia adelante por la rotación de los husillos a través de la cámara, donde funden y se mezclan.

Otro mezclador de uso común es el de tipo Banbury, que consiste básicamente en dos rotores que giran en sentidos inversos y con velocidades distintas en el interior de una cámara cerrada, con sección transversal en forma de ocho.

La cámara tiene una abertura en su parte central superior, para la introducción de los materiales a través de la tolva. Una vez introducidos, la cámara se cierra por medio de un pistón. Aunque gran parte del proceso de mezclado se realiza en la zona central, entre los rotores, los mayores esfuerzos de cizalla se producen por la fricción entre las crestas de las paletas de los rotores y la pared de la cámara.

El mezclado en fundido ofrece la ventaja de que no se introducen componentes extraños (como disolventes); en la mezcla; este procedimiento tiene ventajas económicas que hacen de él el principal método comercial de preparación de mezclas. Mediante el uso de un equipo adecuado, es posible

obtener una buena dispersión de los componentes, a la vez que, generalmente, es posible controlar adecuadamente las condiciones de mezclado.

Sin embargo, la producción de mezclas por mezclado mecánico en fundido presenta problemas especiales. Los polímeros de bajo peso molecular se mezclan con facilidad dando una sola fase, pero la baja velocidad de difusión de los polímeros de alto peso molecular puede hacer muy lento el proceso de mezclado. Por otra parte, un mezclado prolongado en fundido puede provocar problemas debido a la baja estabilidad térmica de algunos polímeros, a la vez que los esfuerzos de cizalla producidos durante el mezclado mecánico pueden ser suficientemente grandes como para originar la ruptura de cadenas poliméricas.

8.20. Mecanismos de espumación de los polímeros

(Martínez, 2006 p.228) propone los siguientes mecanismos:

- Mecánicos: se forman burbujas introduciendo un gas (N_2) a presión en la masa fundida.
- Físicos: las burbujas se forman por ebullición de un líquido volátil (pentano y fluorocarbonos).
- Químicos: se forman burbujas por descomposición de un agente reticulante que genera un gas (N_2 , CO_2) bajo la acción de calor.

A continuación se detalla un listado de químicos que pueden funcionar como agentes esponjantes en diferentes aplicaciones (ver figura 24).

Figura 24. **Listado de nombres de agentes esponjantes que se descomponen con calor y la aplicación en diferente polímeros, entre ellos el EVA**

Compuesto químico	Temp. de degrad (°C)	Gas liberado (ml/g)	Aplicaciones
Azodicarbonamida	205-215	220	PVC, PE, PP, PS, ABS, PA
Azodicarbonamida modificada	155-220	150-220	PVC, PE, PP, EVA, PS, ABS
4,4' oxibis (bencenosulfohidracina)	150-160	125	PE, PVC, EVA
Difenilsulfona- 3,3' disulfohidrazida	155	110	PVC, PE, EVA
Oxido de difenileno - 4,4'-disulfohidracida	175-180	120	PE, PVC, EVA
Tnhidrazinotriazina	275	225	ABS, PE, PP, PA
p-toluensulfonil semicarbazida	228-235	140	ABS, PE, PP, PA, PS
5-feniltetrazol	240-250	190	ABS, PPO, PC, PA, PBT
Anhidrido isatoico	210-225	115	PS, ABS, PA, PPO, PBI, PC

Fuente: MARTÍNEZ, José Miguel. *Polímeros y adhesivos: un curso en diapositivas en Power Point.* p. 228.

Características de los agentes espumantes: entre las características principales se puede citar:

- Temperatura de descomposición bien definida
- Proceso de descomposición gradual y exotérmico
- El gas formado debe ser inerte
- No deben producirse productos tóxicos
- Debe dispersarse con facilidad en el seno del polímero

El proceso industrial realizado por la empresa guatemalteca consiste básicamente en el mezclado de combinaciones de EVA y CN como polímeros y

de agente reticulante, espumante y acelerador del proceso de espumado, aparte de colorantes y algún otro aditivo.

Los materiales de la formulación se mezclan en un molino de dos rodillos donde los polímeros se adicionan en la primera etapa de la mezcla, luego la carga purulenta junto con las ayudas de proceso; después dichas mezclas se inyectan en un molde que se encuentra entre los platos de una prensa; posteriormente se someten a un proceso de calefacción para que tengan lugar las correspondientes reacciones de espumado y reticulado. Tras la apertura rápida del molde relativamente caliente, se produce una expansión prácticamente instantánea de la pieza que posteriormente va encogiéndose por enfriamiento, hasta alcanzar las dimensiones finales, es necesario verificar y asegurarse que se den por completo las reacciones de reticulación y espumado en el moldeo por compresión.

Por tanto es necesario evaluar el comportamiento de las distintas mezclas durante todo el proceso de producción, las propiedades físicas y mecánicas del producto final y la influencia de las variables de cantidad y tiempo de reacción del agente reticulante y espumante utilizados en el proceso de EVA ahulado, prensado por la interacción que existen entre cada uno; esto es básico para cumplir los objetivos de optimización del proceso mencionado inicialmente.

8.21. Propiedades mecánicas de los polímeros

(Muñoz Pinto, 2010) expone también sobre las propiedades mecánicas de los polímeros; cuando se dice que un polímero es resistente o dúctil se hace referencia a sus propiedades mecánicas:

- Resistencia: un polímero experimenta varios tipos de resistencia.

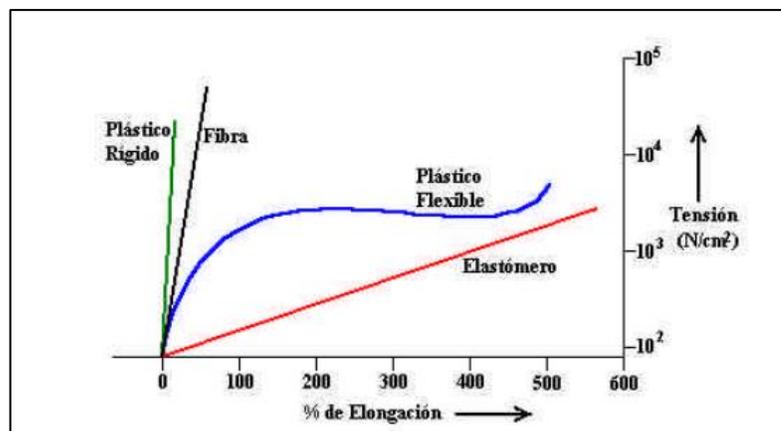
- Resistencia tensil: esta propiedad indica qué tanto puede soportar un polímero cuando se le aplica una determinada fuerza de estiramiento sin lograr romperse.
- Resistencia a la compresión: ocurre cuando un polímero puede soportar una determinada compresión sin que este se fragmente.
- Resistencia a la flexión: esta propiedad mecánica refiere el grado que un polímero puede doblarse siendo flexible, sin partirse.
- Resistencia a la torsión: se refiere cuando mecánicamente se somete un polímero a un grado de torsión o giro sobre su propio eje, como formando un espiral, sin que este sufra daño.
- Resistencia al impacto: cuando un polímero es golpeado fuertemente y no sufre daño.
- Dureza: es una medida de la energía que puede absorber un material, en este caso, un polímero antes de que presente rotura o se rompa.

Ensayo de deformación remanente por compresión (*Compression set*), según (Graterol Maldonado, 2008):

Para medir la deformación remanente por compresión o el porcentaje de recuperación elástica luego de la sollicitación por largos períodos de tiempo se llevó a cabo el ensayo de *Compression set*, según los parámetros establecidos en la norma DIN 53527. En dicha norma el porcentaje de deformación remanente por compresión está definido como la deformación que conserva la probeta (de forma cilíndrica con 10 mm de diámetro y 6 mm de espesor) luego de ser sometida a deformación por un período de 72 horas. La medición del espesor final reportada por la probeta se realizó 30 minutos luego de que la misma fue liberada de los esfuerzos que la mantenían en su estado deformado. (Ver ejemplo en figura 16).

Este proceso es ampliamente utilizado en materiales elastoméricos como una medida cualitativa del porcentaje de vulcanización. El mismo puede ser llevado a cabo a diferentes temperaturas y se puede aplicar a diferentes porcentajes de deformación. Para las probetas de este trabajo la temperatura empleada fue de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la deformación aplicada fue de aproximadamente 25 % en referencia al espesor inicial de la probeta. Los resultados se expresan en porcentajes, donde una deformación remanente por compresión de 0 % indica que la probeta ha recuperado sus dimensiones iniciales, mientras que un valor de 100 % indica que después de ser liberada la deformación, el cuerpo no experimentó recuperación elástica.

Figura 25. **Curvas típicas de tensión en función de la elongación para diferentes clases de polímeros**



Fuente: MUÑOZ, Fidel. *Procesamiento y propiedades de algunas poliolefinas*. p. 4.

En todos los procesos de producción es necesario que se establezcan indicadores clave de desempeño, para lograr los objetivos que se fije la gerencia, y de esta forma se puede medir cómo se está trabajando e implementar mejoras en aquellos puntos en los que se presente la oportunidad.

Siempre toda empresa busca ser más rentable para ser competitiva en el mercado donde se desenvuelve. Por lo que uno de los indicadores más comunes es la “productividad”, lo cual expresa qué tan bien se están utilizando los recursos para producir el producto final. La productividad se puede medir en cada una de las distintas etapas o procesos de producción.

En el presente estudio se abordará como objetivo el incremento de la productividad en el proceso de producción de sandalía con una formulación de mezcla EVA-CN. A continuación se amplía sobre el concepto de productividad.

8.22. Productividad

(Jáuregui, 2000) en su artículo titulado “Productividad y competitividad en América Latina” publicado en la página de internet <http://www.gestiopolis.com/canales/economia>, considera que la productividad es el mejoramiento de la capacidad productiva, buscar eficacia, es decir, mejorar el producto, la eficiencia, prestaciones, entre otros, no descuidando ningún otro factor. La productividad de las empresas latinoamericanas es solamente un tercio en comparación con las empresas de países desarrollados.

Para lograr la productividad es necesario llevar a cabo una modernización tecnológica de equipos y tecnologías de procesos, como también la forma de producción y organización. La modernización es vista con recelo, puesto que se cree que este aumento de productividad, causa desempleo.

El potencial humano no debe descartarse, ya que es fundamental en la implementación de la tecnología.

Se señalan cuatro tipos de innovación en la función de producción:

- Incorporando factor humano
- Invirtiendo en educación, reconociendo que este factor es parte del desarrollo tecnológico y contribuye al logro de mayores niveles de productividad.
- Investigación y desarrollo.
- infraestructura.

Hansen & Mowen (2003), definen que la productividad se refiere a la eficiencia con la que se utilizan los insumos para manufacturar el producto. Las medidas parciales de productividad evalúan el uso eficiente de un insumo y las medidas totales evalúan la eficiencia de todos.

Por medio de la regla del vínculo se pueden calcular los efectos de la productividad vinculada con las utilidades. Realmente, se calcula el efecto en las utilidades tomando la diferencia entre el costo de los insumos que se hubieran utilizado sin ningún cambio en la productividad, y el costo de los insumos reales que se utilizaron. Puesto que existe la posibilidad de intercambio de insumos, es importante evaluar los cambios en la productividad.

En la fabricación, la productividad sirve para evaluar el rendimiento de los talleres, las máquinas, los equipos de trabajo y los empleados. Incrementar la productividad de una empresa mejora la calidad del producto y servicio, reduce los costos de producción y aumenta la participación en el mercado y las utilidades. La mejor utilización y conservación de los recursos de producción es tan solo uno de los resultados de la mejoría en la productividad, y esto, aunado al mayor bienestar de los empleados, ayudará a una empresa a enfrentar su responsabilidad social.

La productividad debe ser un asunto de interés para todos los que laboran en la empresa, sea cual sea su nivel (Sumanth, 1999).

(Zúñiga, 2005) en el artículo “Productividad”, publicado en Prensa Libre, el 4 de octubre, crítica la fijación del salario mínimo por acuerdo gubernativo, el cual lo único que causa es un incremento en el desempleo y los índices de pobreza extrema. Indica que con el salario mínimo siete de cada diez guatemaltecos trabajan informalmente, sin derecho al seguro social, sin garantías, prestaciones de ley, entre otros, y propone como solución la apertura de más empresas que generen más trabajo, que junto con el esfuerzo de los trabajadores en el aprovechamiento de las capacidades y mayor inversión en tecnología, harán que el salario mínimo no tenga razón. Destaca que siendo la fuerza laboral productiva y eficiente, todos trabajarán en beneficio de todos.

(Schroeder, 1995) en su obra “Administración de operaciones”, define la productividad como la relación entre las entradas y salidas de un sistema productivo.

(Gaither & Frazier, 1999) en su libro “Administración de la producción y operaciones”, conceptualizan que la productividad es la cantidad de productos y servicios realizados con los recursos utilizados.

(De Juan, 1974) en su obra “Sistemas de primas e incentivos”, puntualiza que la productividad es la medida de la economía de los medios de producción o la producción por unidad de factor.

Antiguamente se conocía la productividad como la facultad de producir. Actualmente se le considera como un resultado y se le asocia a la relación medible entre producto o servicio y factores, entre fines y medios.

8.22.1. La productividad como competencia de la administración

(Gaither & Frazier, 1999) argumentan que es deber de todas las organizaciones obtener recursos productivos. Todas las organizaciones necesitan tener objetivos de productividad en relación con los factores de producción (tierra, trabajo y capital).

El mejoramiento continuo de la productividad es una labor importante de la administración. Deben combinarse sistemas gerenciales, capacitación, incentivos y cambios de comportamiento que darán como resultado un aumento de la productividad.

Se podría decir que la productividad es el valor aportado y este es la diferencia entre el ingreso bruto obtenido por una empresa de la venta de sus productos o servicios y la cantidad pagada por la compra de materias prima y por servicios prestados por proveedores externos; es decir, el valor aportado incluye todos los costos de los esfuerzos de la empresa y la recompensa obtenida. Representa todos los recursos que la empresa aporta al producto final y el juicio del mercado acerca de esos esfuerzos. A continuación se presentan algunos procedimientos para lograr una mayor productividad:

- Simplificación de los productos.
- Mejora de métodos o simplificación del trabajo.
- Utilización más eficaz de los materiales, suministros y servicios.
- Mejora de la experiencia de los trabajadores, así como de su formación profesional, selección, capacitación, entre otros. Un adecuado sistema de remuneración.

8.22.2. Medición de la productividad

Como anteriormente se dijo, la productividad es la relación que existe dentro de las entradas y salidas de un sistema productivo. Su medición es de suma importancia.

Para Schoeder (1995) las mediciones de la productividad que se aplican a empresas que fabriquen un conjunto homogéneo de productos son:

Ventas

Horas de mano de obra

Ventas

Pago

Número de unidades

Valor de los insumos y materia prima empleados

8.22.3. Conceptos equivocados acerca del término productividad

- Producción no es igual a productividad: a la producción se le relaciona con la actividad de producir bienes y servicios, mientras que productividad se le relaciona con la efectividad y eficiencia con los cuales se producen esos bienes y servicios. En esencia producción es el resultado generado en tanto que la productividad es la proporción resultante de dividir el monto de lo producido entre el costo de los insumos necesarios para producir, (Sumanth, 1999).

- Eficiencia no es igual a productividad: la eficiencia es igual al resultado actual dividido entre el resultado estándar, mientras productividad es igual al resultado actual dividido entre algunos factores de insumos. La eficiencia es necesaria para poder ser productivo, pues obliga a establecer metas y objetivos, para luego alcanzarlos. La eficiencia es la proporción de los resultados generados en la relación con los estándares de resultados prescritos (Sumanth, 1999).
- Ingresos no es igual a productividad: los ingresos no necesariamente implican productividad. La mayoría de empresas se enfocan solamente en los resultados de ventas en ciertos períodos (diarios, mensuales, anuales, entre otros), pero no es usual que le pongan el mismo interés a la supervisión de sus niveles de productividad (Sumanth, 1999).

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

A continuación se listan los capítulos que estarán dentro del trabajo de investigación:

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

- 1.1. Descripción del proceso actual de producción de sandalia
- 1.2. Base de datos para recopilación de histórico de producción
- 1.3. Observación completa del proceso de producción de sandalia

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Calzado
 - 2.1.1. Sandalia: orígenes y evolución del zapato en general
 - 2.1.2. Evolución del calzado a través de las épocas
 - 2.1.3. Evolución en la fabricación del calzado con el uso de nuevos materiales

- 2.2. Industria
- 2.3. Industrialización del calzado
- 2.4. Industria del calzado en Guatemala
- 2.5. Polímeros
 - 2.5.1. Clasificación de los polímeros sintéticos
 - 2.5.2. Polímeros termoplásticos y termoestables
 - 2.5.3. Caucho natural: polímero elastómero
 - 2.5.4. Propiedades de los polímeros - caucho
 - 2.5.5. Etileno acetato de vinilo: polímero sintético
- 2.6. Mezclas poliméricas
- 2.7. Mezcla polimérica EVA-CN: formulación estándar
 - 2.7.1. Copolímero EVA
 - 2.7.2. Agentes celulares o de expansión
 - 2.7.3. Agentes reticulantes
 - 2.7.4. Lubricante interno
 - 2.7.5. *Kicker* o activador del agente celular
 - 2.7.6. Cargas
 - 2.7.7. Pigmentos
 - 2.7.8. Otros aditivos
- 2.8. Técnicas de procesado de espumas
- 2.9. Técnicas de procesado de plásticos moldeados
- 2.10. Moldeo por compresión y por transferencia
- 2.11. Proceso de entrecruzamiento - reticulado
- 2.12. Mezclado mecánico en fundido
- 2.13. Mecanismos de espumación de los polímeros
- 2.14. Propiedades mecánicas de los polímeros
- 2.15. Productividad

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
 - 3.1. Diagnóstico de la situación actual de producción
 - 3.2. Levantamiento del procedimiento de producción de sandalia actual
 - 3.3. Levantamiento de la especificación de sandalia requerida
 - 3.4. Desarrollo de propuesta de fórmula mejorada
 - 3.1. Subfase experimental I
 - 3.2. Subfase experimental II
 - 3.3. Subfase experimental III
 - 3.4. Subfase experimental IV

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARTE EXPERIMENTAL
 - 4.1. Presentación de resultados
 - 4.2. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Tipo de estudio y diseño de investigación

La investigación comprende dos tipos de estudio: retrospectivo y experimental, como se explica a continuación.

- Retrospectivo: puesto que se va tomar información del pasado y actual, de lo realizado y se está realizando en la fábrica actualmente en el proceso de producción de sandalia.
- Experimental: este proyecto involucra parte experimental para determinar las mejoras que se desean plantear al proceso de producción de sandalia, para optimizarlo más, logrando reducir costos y aumentando la producción por día. Esto se llevará a cabo en todo el desarrollo del proyecto.

El presente estudio corresponde a un diseño tipo campo experimental pues se van a tomar los datos directamente de la realidad y se analizará la influencia de ciertas variables en condiciones controladas y conocidas por el investigador.

Por la cronología de las observaciones que se realizarán se clasifica el estudio como una investigación tipo prospectivo, pues registra la información según como van ocurriendo los fenómenos y se analiza contra la actualidad. Adicionalmente, la investigación es de tipo longitudinal, pues el tiempo es un factor determinante para el estudio en cierta etapa de la investigación. El

tiempo es importante porque participa en la relación causa-efecto y porque el comportamiento de las variables se mide en un periodo dado.

El tipo de estudio de la investigación es de carácter exploratorio, pues está enfocado a examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes; también corresponde a descriptivo pues se tiene como propósito describir las propiedades importantes, decir cómo es y cómo se manifiesta determinado fenómeno al cambiar las condiciones de las variables; en este caso la cantidad de agente reticulante y esponjante, así como el tiempo de ciclo de prensa en cada una de las fases de la metodología.

El propósito del estudio es una investigación aplicada (práctica o empírica), porque busca la utilización de los conocimientos y el interés primordial son las consecuencias prácticas del mismo.

10.2. Variables e indicadores

Para la realización del estudio se identificaron las variables y los indicadores.

Tabla I. **Variables dependientes e independientes**

DEPENDIENTES	INDEPENDIENTES
Cantidad en gramos de agente reticulante para la formulación EVA-CN	Temperatura de reacción constante
Cantidad en gramos de agente esponjante para la formulación EVA-CN	Cantidad de EVA y CN constante
Tiempo total en minutos para ambas reacciones de reticulación y esponjado	
Costo de producción	
Productividad por día	
Propiedades físicas y mecánicas	

Fuente: elaboración propia.

Condiciones constantes: cantidad de EVA, CN y temperatura del proceso.
 Variables: tiempos de reacción y cantidades de agentes reticulantes y esponjantes en la fórmula de sandalia.

Tabla II. **Operacionalización de las variables**

Objetivo específico	Variables	Subvariables	Indicadores	Instrumento
Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del producto actual ya existente de EVA-CN y compararlas contra las propiedades de la nueva formulación	Propiedades físicas y mecánicas	Propiedades físicas Propiedades mecánicas Apariencia física (color y forma)	Densidad Dureza Tensión Abrasión Compresión Apariencia *Para el producto final y se usará la referencia de los datos del producto actual.	Densímetro Durómetro Tensímetro Abrasímetro Equipo para compresión Observación visual y comparación con muestra actual.
Medir diferentes tiempos de reacción de esponjamiento y reticulado en el proceso de moldeo por compresión de la mezcla EVA-CN.	Tiempos de reacción	Cantidad agente reticulante Cantidad agente esponjante	Tiempo de reacción: Dato 1 Dato 2 Dato 3 Dato 4 Dato 5	Se variarán las cantidades en la fórmula EVA-CN de agente reticulante y esponjante para 5 tiempos diferentes, y se evaluarán resultados en el producto final de la sandalia; deberá llenarse completamente el molde (tamaño constante sin variar) y cumplir con las propiedades del objetivo anterior.
Evaluar y medir la mejora en la productividad en el proceso EVA-CN por moldeo por compresión	Producción un. sandalias /día		Unidades de sandalias producidas por día en la línea específica.	Órdenes de fabricación cerradas, reporte de la línea de producción.
Evaluar y medir la reducción de costos de producción en el proceso de EVA-CN por moldeo por compresión	Costo de producción por unidad de sandalia		Costos insumos Costos variables Costo total producción	Información de producción.

Fuente: elaboración propia.

10.3. Procedimientos y técnicas

Se explica de forma general cómo se desarrollará el trabajo. La implementación de la metodología se basará en cuatro fases, las cuales se detallan de forma más completa en las siguientes secciones de este numeral.

El estudio en forma generalizada se llevará a cabo manteniendo condiciones constantes de las principales materias primas: etileno-acetato de vinilo y caucho natural; se realizará la mezcla de todos los ingredientes de la fórmula a condiciones de temperatura controlada y constante definida en el proceso (260 - 270 °C).

Se harán varias corridas para determinar las cantidades idóneas de dosificación de agente reticulante y esponjante, variando cada uno de estos en cantidad, así como el tiempo adecuado para las reacciones que se llevan a cabo en el moldeo por compresión. (Se tomarán 5 tiempos diferentes).

La dosificación del agente esponjante debe controlarse muy bien, ya que se deben mantener las condiciones finales de tamaño de la sandalia; el tamaño no debe variar. Asimismo se debe cumplir para que el producto final mantenga las mismas propiedades físicas y mecánicas, en relación con la densidad y dureza de la sandalia. A continuación se explica de una forma amplia qué comprende cada una de las fases de esta sección.

10.3.1. Fase I: observación

La primera etapa para el presente trabajo de investigación es la observación, la cual debe ser no estructurada, pues es necesario familiarizarse y tomar nota de los eventos que se llevan a cabo en cada uno de los pasos

dentro del proceso completo de producción de sandalia por compresión con mezcla polimérica de EVA-CN. Tomar anotaciones detalladas de:

- El orden de los pasos del proceso
- Procedimiento actual que se realiza
- Observación de las materias primas
- Observación y toma de nota de la apariencia del producto final sandalia (condiciones actuales)
- Elaboración de un diagrama de flujo con las entradas y salidas de cada etapa, para tener la visión de cómo es el proceso completo.

10.3.2. Fase II: exploratoria

Se recabará información por medio de dos tipos de formatos, siendo estos:

- Formatos para recolección de datos: se debe elaborar un formato para llenado de la siguiente información de los datos históricos de un mes como referencia.
 - Tiempos de duración actuales de cada etapa y el tiempo total de producción.
 - Cantidades de materias primas en la fórmula actual: EVA, CN, agente reticulante y agente esponjante.
 - Toma de datos de las propiedades físicas y mecánicas del producto sandalia (condiciones actuales).
- Datos de producción/mes de sandalia (unidades) - fuente: reporte de producción.

- Costos total producción/mes de sandalia - fuente: reporte de producción
- Formato para registro de pruebas, con las variables de cantidades (agente reticulante y esponjante) y tiempos de prensado.
- Elaboración de una plantilla para registro de cada una de las pruebas experimentales que se realizarán para los 5 tiempos distintos establecidos. En esta plantilla debe incluirse:
 - Tiempo de reacción 1, 2, 3, 4 y 5. (Estos tiempos se definen decrecientes, a partir del valor actual).
 - Cantidad agente reticulante.
 - Cantidad agente esponjante.
 - Observaciones de apariencia final de la sandalia.
 - Observaciones del tamaño, debe cumplir con el llenado completo del molde, para ser satisfactorio.
 - Fecha de realización.
 - Línea de producción.
 - Tipo de producto.
 - Cantidad EVA y CN.
 - Temperatura de producción.
 - Conclusión: si las propiedades físicas y mecánicas cumplen con especificación o no.
 - Firma del observador y ejecutor.

10.3.3. Fase III: experimental

Esta tercera fase en el desarrollo del estudio consiste a su vez, en 4 subfases, las cuales se detallan a continuación:

10.3.3.1. Subfase experimental I

Condiciones actuales, fórmula base. En esta primera etapa se utiliza la técnica de recopilación de datos por observación participante - observador, donde el investigador participa en las actividades y efectúa una observación abierta.

Se debe recaudar información de la fórmula actual utilizada de mezcla polimérica EVA-CN, específicamente en las cantidades de agente reticulante y esponjante, así como el tiempo de ciclo de prensa para la producción de sandalia, tomando datos de las especificaciones de propiedades físicas y mecánicas del producto final, para posteriormente hacer la matriz comparativa.

10.3.3.2. Subfase experimental II

Consiste en variar en la fórmula base, la cantidad de agente reticulante, manteniendo constante la cantidad de agente esponjante, según la siguiente distribución:

Tabla III. Recopilación de datos de la subfase experimental II

Variable	Valor	Propiedades - resultado
Cantidad EVA (etilenvinilacetato)	Constante	
Cantidad CN (caucho natural)	Constante	
Cantidad agente esponjante	Constante	
Tiempo de ciclo prensa (reacción)	Constante	

Continuación de la tabla III.

CORRIDA 1		
Cantidad agente reticulante 1	Cantidad reticulante = base – 5 %	Cumple/no cumple
CORRIDA 2		
Cantidad agente reticulante 2	Cantidad reticulante = base - 10 %	Cumple/no cumple
CORRIDA 3		
Cantidad agente reticulante 3	Cantidad reticulante = base - 15 %	Cumple/no cumple
CORRIDA 4		
Cantidad agente reticulante 4	Cantidad reticulante = base - 20 %	Cumple/no cumple
CORRIDA 5		
Cantidad agente reticulante 5	Cantidad reticulante = base - 25 %	Cumple/no cumple

Fuente: elaboración propia.

En cada una de las 5 pruebas se está reduciendo gradualmente en un 5 % la cantidad a dosificar de agente reticulante, manteniendo las demás variables constantes con el fin de observar las condiciones finales del producto (sandalia), verificando el cumplimiento de cada test contra las especificaciones de apariencia, dimensiones y otros parámetros establecidos, dejando registro de cada resultado.

10.3.3.3. Subfase experimental III

Tomando como punto de partida la fórmula con mejor resultado de la fase II, de acuerdo con los resultados anteriores, donde se estableció la cantidad

adecuada de agente reticulante, el siguiente paso es reducir gradualmente la cantidad de agente esponjante en la fórmula. Ver detalle en tabla siguiente:

Tabla IV. **Recopilación de datos de la subfase experimental III**

Variable	Valor	Propiedades - resultado
Cantidad EVA (etilenvinilacetato)	Constante	
Cantidad CN (caucho natural)	Constante	
Cantidad agente reticulante	Resultado fase experimental II	
Tiempo de ciclo prensa (reacción)	Constante	
CORRIDA 1		
Cantidad agente esponjante 1	Cantidad esponjante = base - 2.5 %	Cumple/no cumple
CORRIDA 2		
Cantidad agente esponjante 2	Cantidad esponjante = base - 5.0 %	Cumple/no cumple
CORRIDA 3		
Cantidad agente esponjante 3	Cantidad esponjante = base - 7.5 %	Cumple/no cumple
CORRIDA 4		
Cantidad agente esponjante 4	Cantidad esponjante = base - 10 %	Cumple/no cumple

Fuente: elaboración propia.

En cada una de las 4 pruebas se está reduciendo gradualmente a razón de 2,5 % la cantidad a dosificar de agente esponjante, manteniendo las demás variables constantes, verificando el cumplimiento del producto final contra las

especificaciones de apariencia, dimensiones y otros parámetros establecidos, dejando cuidadoso registro de cada resultado. De esta forma se obtiene el valor adecuado en la fórmula para agente reticulante y esponjante; al reducir el consumo de estos materiales en la fórmula, los costos de producción se reducen.

10.3.3.4. Subfase experimental IV

Una vez identificada la cantidad óptima de las pruebas anteriores para la proporción de agente reticulante y esponjante, con un tiempo constante de reacción (tiempo de ciclo de prensa), se procede a reducir el tiempo en forma gradual cada 60 segundos, hasta alcanzar el óptimo.

Tabla V. **Recopilación de datos de la subfase experimental IV**

Variable	Valor	Propiedades -resultado
Cantidad EVA (etilenvinilacetato)	Constante	
Cantidad CN (caucho natural)	Constante	
Cantidad agente Reticulante	Resultado fase experimental II	
Cantidad agente esponjante	Resultado fase experimental III	
CORRIDA 1		
Tiempo de ciclo prensa (reacción) 1	Cantidad minutos = tiempo base – 1 minuto.	Cumple/no cumple
CORRIDA 2		
Tiempo de ciclo prensa (reacción) 2	Cantidad minutos = tiempo base – 2 minutos.	Cumple/no cumple

Continuación de la tabla V.

CORRIDA 3		
Tiempo de ciclo prensa (reacción) 3	Cantidad minutos = tiempo base – 3 minutos.	Cumple/no cumple
CORRIDA 4		
Tiempo de ciclo prensa (reacción) 4	Cantidad minutos = tiempo base – 4 minutos.	Cumple/no cumple
CORRIDA 5		
Tiempo de ciclo prensa (reacción) 5	Cantidad minutos = tiempo base – 5 minutos.	Cumple/no cumple

Fuente: elaboración propia.

Esta etapa final del estudio es muy delicada, pues los tiempos de reacción son extremadamente delicados y críticos, ya que influyen directamente en el tamaño y apariencia de la sandalia como producto final; el resultado de mejor tiempo es aquel donde las condiciones de la especificación no se alteran en lo absoluto.

Estas fases se desarrollan previamente a nivel laboratorio, para tener una visión de cuáles pueden ser las proporciones a usar, pero no son concluyentes, pues el tiempo de ciclo de prensa (minutos) en un laboratorio, por el tamaño del molde, oscila entre los 15 minutos, lo cual no es comparable a lo que se utiliza en producción normal; es por esto que las pruebas en producción son las determinantes para este estudio.

Una vez finalizadas las pruebas de producción se tendrá la fórmula final, con la cual se pueden realizar los análisis de costos de producción y productividad, para, a través de una matriz comparativa entre la fórmula actual y

la resultante del estudio, se obtengan los beneficios claros del presente trabajo de investigación.

Tabla VI. **Matriz comparativa de la fase experimental final contra las condiciones actuales**

Fórmula actual (FA)		Fórmula resultante (FR)	
Variable	Valor	Variable	Valor
Cantidad EVA (etilenvinilacetato)	Constante	Cantidad EVA (etilenvinilacetato)	Constante
Cantidad CN (caucho natural)	Constante	Cantidad CN (caucho natural)	Constante
Cantidad agente reticulante	X	Cantidad agente reticulante	A
Cantidad agente esponjante	Y	Cantidad agente esponjante	B
Tiempo de ciclo prensa (reacción)	Z	Tiempo de ciclo prensa (reacción)	C
Costos de producción	Monto Q (FA)	Costos de producción	Monto Q (FR)
Unidades producidas al mes	N	Unidades producidas al mes	N
		Ahorro anual estimado por reducción de insumos en fórmula	a determinar
		Reducción de tiempo de reacción en el proceso de moldeo por compresión	% a determinar
		Aumento de la productividad mensual	a determinar
		Reducción de costos de producción con fórmula resultante	a determinar

Fuente: elaboración propia.

10.4. Universo y muestra

- Universo: productos manufacturados con proceso de moldeo por compresión de mezcla etileno - acetato de vinilo (EVA) y caucho natural (CN) en Guatemala.
- Muestra: sandalia producida con mezcla de polímeros etileno-acetato de vinilo (EVA con caucho natural (CN), conocido como EVA ahulado, en la única fábrica activa productora de espumas EVA en Guatemala.

Aplicando la teoría del muestreo estadístico para un nivel de confianza del 95,0 % y un error estándar del 5,0 %; y que al contar con el dato de población identificada, se aplica la fórmula:

$$n = \frac{N\sigma Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2 Z^2}$$

Donde:

n = tamaño de muestra

N = tamaño de la población

σ = desviación estándar de la población, que al no tener su valor; convencionalmente suele utilizarse el valor de 0,50.

Z = tipificación del nivel de confianza en la distribución normal. Su valor a un nivel de confianza del 95 % y a dos colas es 1,96.

e = error en la muestra, que varía entre 0,01 y 0,09; que para esta investigación será de 0,05.

Muestra: 24 pares sandalias talla 37/38.

Esto se hace de esta forma, pues se estará tomando una carga de planta para optimizar el tiempo de prueba en línea de 70 Kg.

Cada block (plancha, carga en prensa) pesa alrededor de 4,5 Kg; por plancha se producen 24 pares de sandalias del tamaño promedio (talla 37/38).

La plancha tiene una dimensión de 40 x 65 pulgadas.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

11.1. Medidas de tendencia central

Se utiliza la media aritmética simple para cuantificar el promedio de las mediciones que se realizan en todas las fases descritas anteriormente.

11.2. Indicadores

Los indicadores permiten aportar información comparativa en relación con la situación actual de la empresa y luego proponer las mejoras que ayudarán a obtener excelentes resultados de productividad y costos en la producción de la sandalia para la formulación con EVA-CN en la fábrica guatemalteca.

11.3. Análisis de datos obtenidos

Luego de recopilar los datos se procede a realizar un análisis comparativo para la interpretación de los resultados obtenidos y así verificar qué tanto beneficio se pudo obtener con base en los cambios realizados en el proceso de producción, según los objetivos planteados inicialmente en el presente estudio.

La técnica de análisis de información se hará desarrollando un análisis comparativo por medio de la tabla V, en donde se tienen resumidas las condiciones actuales que utiliza la planta de manufactura para la producción de sandalia y las nuevas condiciones generadas de acuerdo con la mezcla polimérica propuesta de EVA y CN resultante del estudio.

Para ello se recurrirá a un auditor del Departamento de Aseguramiento de Calidad, así como todo el apoyo del Área de Investigación y Desarrollo para llevar a cabo el monitoreo constante y toma de datos durante todo el estudio. Se pedirán los espacios en producción al Área de Manufactura, para realizar las diferentes corridas que permitan la obtención de datos.

Para la medición de los beneficios a largo plazo, después de los resultados obtenidos, se determinará debidamente el incremento de la productividad utilizando la nueva fórmula en los *batches* de producción al mes, así como cuantificar la reducción de costos de producción o los ahorros, con el hecho de reducir los tiempos de reacción en el reticulado y esponjado, así como la optimización de la cantidad de agente reticulante y esponjante en la mezcla polimérica resultante del estudio.

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación se incluye el cronograma de actividades para la ejecución del presente estudio.

Figura 26. **Cronograma de actividades para el desarrollo del estudio del anteproyecto**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Recursos humanos, material y equipo que serán indispensables para realizar el proyecto.

13.1. Acceso a la información

La información será generada experimentalmente a lo largo del estudio bajo supervisión del maestrante y se tendrá acceso a estos registros para su análisis e interpretación, disponiendo de recurso humano, maquinaria, equipo, materiales, instalaciones e insumos de la empresa.

13.2. Disponibilidad de recursos

Se describen a detalle todos los recursos que serán utilizados en el presente trabajo de investigación, para el logro de su desarrollo.

13.2.1. Recursos humanos

En esta sección se incluye el listado de todos aquellos recursos de carácter humano.

Tabla VII. **Recursos humanos**

Área	Descripción	Cantidad
Producción	Operarios y auditores de calidad , auditores de Investigación y desarrollo	8
Investigación	Asesor de trabajo de graduación	1
Investigación	Investigador	1

Fuente: elaboración propia.

13.2.2. Materiales y equipo

A continuación se lista el total de equipos y materiales que serán utilizados para el desarrollo de este estudio.

Tabla VIII. **Equipo**

Área	Descripción	Cantidad
Producción	Balanza digital	1
Producción	Recipientes	3
Calidad	Espátula	1
Calidad	Guillotina	1
Calidad	Guantes	50
Calidad	Cuchillas	10
Investigación y desarrollo	Cronómetro	1
Investigación y desarrollo	Termómetro	1
Investigación y desarrollo	Vernier	1
Producción y calidad	Rheometer	1
Producción y calidad	Abrasímetro	1
Producción y calidad	Densímetro	1
Producción y calidad	Durómetro	1
Producción y calidad	Tensímetro	1
Producción	Mezclador interno	1
Producción	Molde de sandalia	1
Producción	Equipo para compresión	1
Investigación y desarrollo	Calibrador	1
Producción	Cortadora – guillotina	1
Calidad	Marcador	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Recursos financieros y materiales estimados**

Descripción	Precio unitario	Total en quetzales
EVA	Q12,07 /kg	181,05
Agente activante	Q17,40 /kg	261,00
Agente reticulante	Q74,80 /kg	1 122,00
Agente esponjante	Q30,90 /kg	463,50
Desmoldante	Q10,25 /kg	153,75
Colorante	Q534 /kg y Q15,33 /Kg (2 tipos)	5 493,30
Cargas	Q1,56 /kg y Q11,34 /kg (2 tipos de cargas distintas)	96,75
Asesoría de tesis	Q250/sesión	2 500,00
Alimentación y transporte	Q100/día	15 000,00
Impresiones	Q0,50/unidad	500,00
Hojas	Q40/resma	Q120,00
Teléfono	Q100/mes	Q300,00
Gastos varios	No especificados	Q1000,00
Total		Q27,191,35

Fuente: elaboración propia.

Los recursos financieros y materiales descritos anteriormente estarán a cargo de la empresa, la cual aportará todo lo referente a materiales, materia prima, mano de obra de operarios y recursos varios. El investigador y asesor donarán sus servicios, así como impresiones y uso de telefonía, lo cual se exceptúa para ser cubierto por la fábrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almanza Montero, O. A. (2000). *Polímeros espumados con base de polietileno y copolímero etileno acetato de vinilo: generalidades y estructura celular*. Recuperado de <<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/view/File/35357/35719>>.
2. Bértora, F. (2010). *Arte y suela: la importancia del calzado en la indumentaria femenina*. Universidad de Palermo. Obtenido de <fido.palermo.edu/servicios_dyc/.../archivos/587.pdf>.
3. Billmeyer, F. W. (1973). *Ciencia de los polímeros*. 2a ed. Barcelona: Reverté.
4. Castañeda Montenegro, M.A. (2003). *Diseño de mobiliario para exposiciones de calzado*. Universidad Rafael Landívar, trabajo de graduación de diseño industrial. Obtenido de <<http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/lote01/Castaneda-Mario.pdf>>.
5. Chang, Chang, J. (1993). *Análisis del aire comprimido de formado en el proceso de termoformado*. Guatemala: Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

6. CIG. (2015). Artículos gremiales: celebran 25 años de la feria del calzado. *Revista industria y negocios - edición septiembre, número 215, Cámara de la Industria de Guatemala*. Disponible en: <<http://www.revistaindustria.com/?p=19311>>.
7. Coran, A. (1990). *New elastomers by reactive processing. Part I. Vulcanizable precured alloys from NBR and ACM*. USA: Rubber Chem. Technol. vol. 63.
8. Coran, A., & Lee, S. (1992). *New elastomers by reactive processing. Part II. Dynamic vulcanization of blends by trans-esterification*. USA: Rubber Chem Technol. Vol.63.
9. De Juan, F. (1974). *Sistemas de primas e incentivos*. 14a ed. Bilbao España: Deusto.
10. Dekker, M. (1995). *Polymer chemistry, an introduction*. 3a ed. España: Reverté, S. A.
11. Escoto Palacios, M. (1995). *Estudio de mezclas de copolímeros en bloque de estireno-butadieno y copolímeros de etileno -acetato de vinilo parcialmente reticuladas con peróxido*. Trabajo de graduación doctoral de la Universidad de Alicante. Alicante.
12. Fischetti, S. (2010). *El calzado femenino y la mujer*. Palermo, Argentina: Universidad de Palermo.

13. Gaither, N., & Frazier, G. (1999). *Administración de la producción y operaciones*. 8a. ed. México: Thomson Editores S. A. de C. V.
14. Gallego, K., López, B. L., & Gartner, C. (2006). Estudio de mezclas de polímeros reciclados para el mejoramiento de sus propiedades. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquía* núm.37, 61.
15. Ghelman, D. (2007). Historia del calzado: calzado de los pueblos originarios del centro y sur de América. *Revista de Artes No.7 Buenos Aires Argentina*. Obtenido de: <www.revistadeartes.com.ar>.
16. González Pérez, J. A., González Morales, E. E. & Barba Hernández, G. S. (2013). *Propuesta de mejora del proceso de elaboración de plantillas para zapato utilizando la metodología Lean manufacturing en la empresa Avios Guadalajara*. Jalisco, Guadalajara, México: Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.
17. Graterol Maldonado, A. (2008). *Evaluación y selección de materiales para un termoplástico vulcanizado: PA12/POLI(Etileno-co-octeno)*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
18. Hansen, D., & Mowen, M. (2003). *Administración de costos*. 3a. ed. México: International Thomson Editores, S. A. de C.V.

19. Jáuregui, A. (2000). *Productividad y competitividad en América Latina*.
Obtenido de: <<http://www.gestiopolis.com/search/articulo+productividad+y+competitividad/>>.
20. Jin, F. (2005). *Reaktive Kompatibilisierung von PA/EVA-Blends mit anschließender Generierung von thermoplastischen Vulkanisaten*.
Stuttgart: Universidad de Stuttgart. Stuttgart: Institut für Kunststofftechnik.
21. Juárez Varon, D., Balart Gimeno, R., Ferrándiz Bou, S. & García Sanoguera, D. (2012). Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. *Revista de investigación Ciencias*, 5.
22. Koshy, A., Kuriakose, B., Thomas, S., Premalatha, C. & Varghese, S. (1993). Melt rheology and elasticity of natural rubber-ethylene-vinyl acetate copolymer blends. *Journal Application Polymers Science No. 49*.
23. León Castillo, G. (2000). *Evaluación técnica de la sustitución del peróxido de dicumilo por el alfa-alfabis(t-butilperoxi)-diisopropil benceno, como agente reticulante y de vulcanización en un producto de etilen-vinil-acetato (EVA) para la industria del calzado de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ingeniería Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.
24. López Carrasquero, F. (2004). *Fundamentos de polímeros*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química.

25. Luengo Rico, G. (1993). *Mezclas de polímeros estudio de su compatibilidad*. Madrid: Trabajo de graduación Doctoral, Facultad de Ciencias Químicas.
26. Martínez, J. M. (2006). *Polímeros y adhesivos: un curso de diapositivas en Power Point*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Publidisa.
27. Mata, A., Vega Baudril, J., Montero, M., Pereira, R., & Sáenz, A. (2001). *Estudio biomecánico de materiales poliméricos para la fabricación de plantillas ortopédicas. Tecnología de Ciencia, Volumen 16*.
28. Mejía Rodríguez, B. E. (2008). *Estrategias de comunicación para el desarrollo de la pequeña y mediana empresa de calzado de la ciudad capital de Guatemala*. Trabajo de graduación de Licenciatura en Administración de Empresas, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas.
29. Molina Molina, C. R. (1983). *Estudio sobre el caucho natural, su tecnología y su situación nacional*. Guatemala: Trabajo de graduación de Ingeniería Química, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
30. Morales, D. A., & Zulluaga Corrales, H. F. (2006). Estudio de propiedades térmicas y mecánicas en espumas de mezclas poliméricas entre copolímero de etileno-acetato de vinilo (EAV) y caucho natural (CN). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía No. 37, 82-92*.

31. Muñoz Pinto, F. (s.f.) *Procesamiento y propiedades de algunas poliolefinas*. Mérida, Venezuela: Grupo de polímeros, Departamento de Química, Facultad de Ciencias. Universidad Los Andes.
32. Universidad de Palermo (2006). *Experimentación, innovación, creación. aportes en la enseñanza del diseño y la comunicación*. Buenos Aires Argentina: Facultad de Diseño y Comunicación UP. Año VII, Vol. 7.
33. Reinoso, R. (2011). *Con los pies sobre la tierra*. Universidad de Palermo, Proyecto de graduación carrera diseño de moda. Obtenido de: <fido.palermo.edu/servicios_dyc/.../archivos/373.pdf>.
34. Reyes Escalante, E. (1994). *Colección problemas socioeconómicos*. Guatemala: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala.
35. Rothamel, L. (2012). *La adaptación de materiales en el diseño y construcción de calzado*. Universidad de Palermo, Proyecto de graduación, carrera diseño de moda. Obtenido de: <fido.palermo.edu/servicios_dyc/.../archivos/529.pdf>.
36. Schroeder, R. (1995). *Administración de operaciones*. 3a. ed. Estados Unidos: McGraw-Hill.
37. Sempere Alemany, F. J. (2002). *Estudio de los procesos de reticulado, espumado y descomposición térmica de formulaciones industriales de copolímeros de EVA y PE: métodos cinéticos*.

Trabajo de graduación de Doctorado, Universidad de Alicante.
Alicante.

38. Sumanth, D. (1999). *Administración para la productividad total*. 1a. ed. México: Continental.
39. *The bata shoe museum collection*. (2010). Obtenido de: <http://www.batashoemuseum.ca/the-bsm-collection/>.
40. Ugalde Alvear, M. A. (2012). *Vestir los pies de una manera diferente*. Universidad de Palermo, Proyecto de graduación, carrera diseño de moda. Obtenido de: fido.palermo.edu/servicios_dyc/.../archivos/1521.pdf.
41. Vogel, J., & Heinze, C. (1993). *Die reaktive verarbeitung von polyethylen und ethylen-vynilacetat- copolymeren. Die angewandte makromolekulare chemie*.
42. Zúñiga, C. (2005). Productividad. *Prensa Libre*.

APÉNDICE

Apéndice 1. Matriz de coherencia

Diseño de investigación para establecer la fórmula y tiempo óptimo, en las reacciones de reticulado y espumado, de la fabricación de sandalia con etilenvinilacetato y caucho natural, al usar moldeo por compresión para el Incremento de la productividad

Pregunta de investigación	Objetivos	Método propuesto	Resultados esperados
¿Cuál es la proporción de material esponjante y reticulante necesaria para lograr un proceso de prensado en EVA ahulado que cumpla con las propiedades de densidad y dureza establecidas?	Evaluación de fórmulas en los procesos de esponjado y reticulado utilizando mezcla de EVA-CN con agregados de agente esponjante y reticulante en la producción de Sandalia	Retrospectivo y experimental. Variar la dosificación en la fórmula de sandalia para las cantidades de agente espumante y reticulante, tomando en cuenta las variables de temperatura constante y tiempo en el proceso de EVA ahulado prensado variable (5 tiempos)	Determinar la mejor proporción en la fórmula para la producción de sandalia con EVA –CN, sin afectar las propiedades físicas del producto final
¿Cuál es el tiempo de duración recomendable para la reacción de esponjamiento y reticulación en la mezcla del material EVA ahulado en un proceso de moldeo por compresión para sandalia?	Medir diferentes tiempos de reacción de esponjamiento-reticulación en el proceso de EVA-CN con moldeo por compresión	Medir distintos tiempos para las reacciones que tienen presencia en el proceso de EVA-CN prensado, para determinar el que sea suficiente para obtener un producto aceptable. Tomar base de 5 diferentes tiempos de medición	Determinar el tiempo óptimo de reacción

Continuación del apéndice 1.

Pregunta de investigación	Objetivos	Método propuesto	Resultados esperados
¿En qué influye los cambios de formulación para las propiedades físicas y mecánicas del producto final entre la fórmula actual utilizada y la propuesta de este trabajo, para el proceso de moldeo por compresión en la mezcla de EVA-CN?	Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del producto actual ya existente de EVA-CN y compararlas contra las propiedades del EVA-CN que utiliza la nueva formulación, por medio de la medición de dureza y densidad del producto final	Realizar medición de las propiedades físicas y mecánicas (densidad y dureza) del producto sandalia actualmente con la fórmula que se tiene establecida y medir los resultados con la nueva propuesta de fórmula.	Se espera que la nueva propuesta mantenga o supere las propiedades del producto final para densidad y dureza al aplicar la nueva fórmula.
¿En qué porcentaje se aumentará la productividad por día al reducir los tiempos de reacción en el proceso de prensado de la mezcla EVA-CN?	Evaluar y medir la reducción de tiempos de reacción para la mejora de productividad en el proceso de prensado de la mezcla EVA-CN	Medir la productividad de sandalias/día	Determinar un porcentaje de mejora en la productividad final (incremento)
¿En qué porcentaje se reducirá el costo real del proceso de prensado de la mezcla EVA-CN con la reducción de cantidad de agentes reticulante, esponjante y tiempo de reacción?	Evaluar y medir la reducción de costos de producción en el proceso de EVA ahulado prensado	Medir el costo real del proceso de producción de sandalia y hacer el comparativo con el nuevo costo con las modificaciones presentadas	Obtener una reducción del costo real del producto de sandalia en el proceso de producción

Fuente: elaboración propia.