

PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE  
EMPAQUES DE CAUCHO NATURAL EN INDUSTRIAS JOLFERB

DIEGO FERNANDO PENAGOS RUBIANO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2017

PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE  
EMPAQUES DE CAUCHO NATURAL EN INDUSTRIAS JOLFERB

DIEGO FERNANDO PENAGOS RUBIANO

Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2017

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Jurado Orientador

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Bogotá, D.C. Junio de 2017.

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano de Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Cifuentes Arismendi

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **AGRADECIMIENTOS**

En la culminación de este trabajo de grado manifiesto mis sinceros agradecimientos a todas las personas que de una u otra manera colaboraron en este proceso.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de los logros se los debo a ustedes, en los que incluyo este. Me formaron con reglas y ciertas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron con constancia para alcanzar mis anhelos.

A mi hermano por estar presente en todos los momentos importantes de mi vida y en este no siendo la excepción brindando su apoyo y estando pendiente de mi desarrollo como persona y profesional.

A la universidad por la ayuda de mis maestros, mis compañeros, y en general por todo lo anterior en conjunto con todos los grandes conocimientos que me ha otorgado.

Finalmente a la compañía Industrias Jolferb que amablemente me permitió desarrollar el trabajo de grado en sus instalaciones brindando todo el apoyo y atención del caso.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	19
1. GENERALIDADES	20
1.1 CLASES DE CAUCHO	20
1.1.1 Caucho Natural	20
1.1.2 Caucho Sintético	20
1.2 VULCANIZACIÓN DE ELASTÓMEROS	21
1.2.1 Azufre	22
1.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CAUCHO	23
1.4 LÁTEX	24
1.5 PREPARACIÓN PARA UNA MEZCLA DE CAUCHO	25
1.5.1 Base elastomérica	26
1.5.1.1 Caucho nitrilo	26
1.5.2 Agentes de vulcanización	27
1.5.3 Acelerantes	27
1.5.4 Activadores	27
1.5.5 Antioxidantes	28
1.5.6 Plastificantes	28
1.5.7 Agentes reforzantes	28
1.5.7.1 Negro de Humo	29
1.8 MARCO LEGAL	29
2. DIAGNOSTICO DE LA EMPRESA	31
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	31
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	33
2.3 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICA	35
2.3.1 Análisis Pareto	36
2.3.2 Identificación de causa raíz	38
2.3.2.1 Método de las 5 “M”	38
2.4 INDICADOR OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS O EFICACIA GLOBAL DE EQUIPOS PRODUCTIVOS)	43
2.5 ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	46
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	48
3.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	48
3.1.1 Planteamiento de hipótesis	49
3.1.2 Variables del diseño experimental	49
3.1.3 Diseño de experimentos factorial	50

3.1.4 Instrumentación y equipos	50
3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	50
3.2.2 Datos experimentales	52
3.2.3 Resultado del diseño factorial	53
3.3 MEZCLA RESULTANTE PARA LA FABRICACION DE EMPAQUES DE CAUCHO	54
3.4 CARACTERIZACIÓN	56
3.4.1 Ensayo de tensión y elongación	56
3.4.2 Ensayo reometría de torque	57
3.4.3 Ensayo de flexión	58
3.4.4 Resumen de las pruebas físicas realizadas al caucho natural	59
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
4.1 ENSAYOS EXPERIMENTALE	60
4.1.1 Análisis de tensión y elongación	60
4.1.2 Análisis de reometría	62
4.1.3 Análisis de flexión	63
4.2 ANÁLISIS EN LA ADICIÓN DE INSUMOS	64
5. RENTABILIDAD DEL PROYECTO	70
5.1 COSTOS Y GASTOS CON Y SIN LA PROPUESTA	70
5.1.1 Devoluciones e inconformidades	72
5.1.2 Costo unitario	72
5.1.3 Nuevos mercados	76
5.2 RENTABILIDAD	76
6. CONCLUSIONES	78
7. RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	82

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Marco Jurídico Nacional	30
<b>Tabla 2.</b> Productos fabricados en industrias JOLFERB	32
<b>Tabla 3.</b> Devolución mensual JOLFERB	36
<b>Tabla 4.</b> Razones de devolución mensual JOLFERB	37
<b>Tabla 5.</b> Formulación caucho natural industrias JOLFERB	41
<b>Tabla 6.</b> Entradas y salidas de masa en la fabricación de empaques	42
<b>Tabla 7.</b> Indicador OEE industrias JOLFERB	45
<b>Tabla 8.</b> Aspectos importantes de la encuesta de satisfacción del cliente	46
<b>Tabla 9.</b> Factores y niveles del diseño de experimentos	50
<b>Tabla 10.</b> Consideraciones para la nueva formulación.	51
<b>Tabla 11.</b> Diseño factorial para evaluar dureza	53
<b>Tabla 12.</b> Análisis de varianza para dureza (ANOVA)	53
<b>Tabla 13.</b> Formulación con caucho nitrilo	55
<b>Tabla 14.</b> Ensayo tensión elongación caracterización inicial del caucho.	56
<b>Tabla 15.</b> Ensayo Flexión producto actual.	58
<b>Tabla 16.</b> Resumen de resultados caracterización inicial de caucho natural industrias JOLFERB.	59
<b>Tabla 17.</b> Valores de tensión para caucho natural industrias JOLFERB	60
<b>Tabla 18.</b> Valores de tensión para la alternativa	61
<b>Tabla 19.</b> Resultados de la reometría	63
<b>Tabla 20.</b> Ensayo de flexión formulación con caucho nitrilo	63
<b>Tabla 21.</b> Resultados ensayo de flexión	64
<b>Tabla 22.</b> Comparación de plastificantes	64
<b>Tabla 23.</b> Bases elastoméricas de las formulaciones	65
<b>Tabla 24.</b> Base elastomérica con y sin retal	66
<b>Tabla 25.</b> Acelerantes de las formulaciones	66
<b>Tabla 26.</b> Reforzantes de las formulaciones	67
<b>Tabla 27.</b> Análisis indicador OEE	68
<b>Tabla 28.</b> Promedio de costos y gastos mensuales industrias JOLFERB	71
<b>Tabla 29.</b> Costo unitario de producción actual y alterna	73
<b>Tabla 30.</b> Costo de venta productos con formulación actual y alterna	74
<b>Tabla 31.</b> Promedio de ventas	76
<b>Tabla 32.</b> Rentabilidad mensual con y sin la alternativa	77

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Devoluciones clientes industrias JOLFERB	38
<b>Gráfica 2.</b> Aspectos más relevantes de la encuesta	47
<b>Gráfica 3.</b> Principales efectos en la dureza	54
<b>Gráfica 4.</b> Resistencia a la tensión en los procesos tradicionales y alternativos	61
<b>Gráfica 5.</b> Devoluciones mensuales con el proceso actual y alterno	72

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Tipos de caucho sintéticos y sus características.	21
<b>Figura 2.</b> Reacción de entrecruzamiento en la vulcanización	22
<b>Figura 3.</b> Diagrama deformación–esfuerzo del caucho natural vulcanizado	23
<b>Figura 4.</b> Estructura química del caucho nitrilo	26
<b>Figura 5.</b> Efecto de los activadores en el tiempo de vulcanización	28
<b>Figura 6.</b> Descripción del proceso actual industrias JOLFERB	33
<b>Figura 7.</b> Descripción del proceso	52

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
<b>Imagen 1.</b> Cadena de polímeros caucho natural	24
<b>Imagen 2.</b> Balanza	33
<b>Imagen 3.</b> Bascula	33
<b>Imagen 4.</b> Molino de dos rodillos	33
<b>Imagen 5.</b> Prensa hidráulica	34
<b>Imagen 6.</b> Prensa hidráulica (Botón)	34
<b>Imagen 7.</b> Diagrama de Ishikawa para el producto no conforme por defectos en dureza.	39
<b>Imagen 8.</b> Cálculo del indicador OEE	44
<b>Imagen 9.</b> Reograma formulación actual.	57
<b>Imagen 10.</b> Reogramas de las dos formulaciones	62

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Resultados caracterizacion inicial del caucho	83
<b>Anexo B.</b> Resultados del caucho nitrilo	86
<b>Anexo C.</b> Costos ensayos	88
<b>Anexo D.</b> Ensayos de reometria de torque	89
<b>Anexo E.</b> Encuesta de satisfacción del cliente	95

## LISTA DE ABREVIATURAS Y UNIDADES

DOP	Di-Octil ftalato (Éster)
MBT	2-mercaptobenzotiazol o Thiotax
NBR	Nitrile Butadiene Rubber o caucho nitrilo
NR	Natural rubber o caucho natural
OEE	Overall Equipment Effectiveness o Eficacia Global de Equipos Productivos
PHR	Parts per hundred of rubber o partes por cien de caucho
SBR	Styrene-Butadiene Rubber o Caucho estireno butadieno

## GLOSARIO

**ACELERADORES DE LA VULCANIZACIÓN:** son sustancias que añadidas en cantidades mínimas en las mezclas de caucho aumentan la rapidez de vulcanización o cura y a su vez mejoran la calidad del producto y disminuyen la cantidad de azufre empleada.

**ACTIVADORES:** son los encargados de aumentar la velocidad de vulcanización reaccionado con los acelerantes y el azufre para iniciar la vulcanización. Pueden ser sustancias inorgánicas, orgánicas y/o metálicas. Los más comunes son los que usan una combinación de óxido de zinc y ácido esteárico.

**AGENTES VULCANIZADORES:** un agente vulcanizador es aquel que efectúa la vulcanización después de ser expuesto a temperatura conveniente. Este agente vulcanizador debe ser soluble en el caucho o estar dividido en partículas finas para que pueda dispersarse con facilidad y uniformidad en el caucho.

**CAUCHO NATURAL:** en estado natural, el caucho aparece en forma de látex de plantas que producen caucho como el árbol de la especie *Hevea Brasiliensis*, originario del Amazonas. El caucho natural obtenido de otras plantas suele estar mezclado por varias resinas, que deben extraerse para que el caucho sea apto para la industria. Entre estos cauchos se encuentran la gutapercha y la balata, que se extraen de algunos árboles tropicales.

**CAUCHO SINTÉTICO:** puede llamarse caucho sintético a las sustancias elaboradas artificialmente que tienen propiedades similares al caucho natural. Se logra su obtención por reacciones químicas, como condensación o polimerización, por medio de determinados hidrocarburos insaturados.

**DUREZA:** propiedad mecánica de resistencia que presenta un material al ser aplicada una fuerza sobre él. Por lo general se mide dicha propiedad por medio un punzón de dimensiones específicas y bajo una carga dada que produce un rebote. La dureza de un caucho es una indicación de su rigidez frente a esfuerzos moderados.

**ELONGACIÓN:** propiedad mecánica que mide el incremento de longitud respecto a la longitud inicial. Para materiales como el caucho si el alargamiento no supera el límite elástico vuelve a su longitud inicial cuando se termina el esfuerzo de lo contrario el material sufre rotura.

**VULCANIZACIÓN:** es una reacción química irreversible en la cual se incorporan átomos de azufre a la molécula del polímero a temperatura y tiempos específicos. Dicha reacción genera un cambio en las propiedades físicas, mecánicas del

caucho, dando mayor resistencia a la fricción y dureza al caucho. La temperatura y tiempo del proceso de vulcanización dependerán de varios factores como la formulación y la aplicación del producto final.

## RESUMEN

Este trabajo de grado plantea una propuesta de mejora para los empaques de caucho fabricados en industrias JOLFERB, realizando una caracterización de los empaques de caucho natural producidos por parte de la empresa, utilizando la misma como base para elaborar una nueva formulación junto con un protocolo que ayude a disminuir las inconformidades presentadas por los clientes de industrias JOLFERB.

El desarrollo de la caracterización se realizó tanto a la fórmula con base a caucho natural como a la fórmula de la alternativa propuesta, partiendo de factores que influyen en la calidad de las láminas que se fabrican en la empresa. Para posteriormente analizar la influencia de dos factores que influyen en la dureza del material, que es la principal inconformidad del cliente, se realizó un diseño experimental con los factores tiempos de vulcanizado y cantidad de plastificante, teniendo para los mismos dos niveles de 8 y 12 minutos y 1500 y 2000 gramos respectivamente. De lo cual se identificó que la concentración de plastificante más acorde para la nueva formulación es de 2000 gr utilizando un tiempo de vulcanizado de 8 minutos, puesto que en estas condiciones el producto final presenta las durezas que se requieren.

Se fabricó una lámina utilizando los datos de la parte experimental, comparándola con las láminas fabricadas actualmente en la empresa, se encontró que se mejoran las propiedades de flexión, tensión y dureza, obteniendo de esta manera un producto de mejor calidad. Finalmente se comparó la rentabilidad para el proceso tradicional y para la alternativa propuesta, para así ver la viabilidad de la propuesta y la mejora de dicha rentabilidad con la nueva formulación.

## INTRODUCCIÓN

JOLFERB es una empresa manufacturera en fabricación de empaques de caucho vulcanizados, y servicio de inyección de plásticos, especializada en empaquetadura para griferías en general, y empaquetaduras para acueducto y alcantarillado, entre otros.

La empresa tiene varios años de existencia y se consolidó en términos de procesos y mercado, manteniendo por muchos años los niveles de ventas y crecimiento sostenido. En la actualidad la empresa está en un retroceso por malos manejos y descuido de la misma, aunque continúa con la fabricación de empaques de caucho vulcanizado y servicio de inyección de plásticos, en el proceso de fabricación de empaques para grifería en general se está generando un producto no conforme de una calidad baja en aspectos como la dureza y pureza del producto final, debido a la falta de estudios profesionales que aporten al desarrollo de un proceso técnico que plantee una disminución en las fallas y apunte a una calidad de producto más alta. A pesar de tener un producto final que aun comercializa no se ha logrado un aprovechamiento adecuado de las materias primas, ni una estandarización del proceso, se ha venido haciendo de manera artesanal.

Se hace necesaria la implementación de mecanismos técnicos que logren una mejora en las condiciones de operación en la fabricación de empaques de caucho natural. La proyección de la empresa a un mercado más grande y rentable dependerá de la calidad técnica del proceso de fabricación, teniendo mejores condiciones en el mismo se contribuiría a un mejor producto.

A continuación se presenta el desarrollo del trabajo de grado en 7 capítulos los cuales comprenden diferentes fases en el desarrollo del proyecto, en donde se resalta la propuesta de mejora recomendada mediante ensayos físicos realizados a la lámina elaborada a partir de caucho nitrilo con su correspondiente análisis y viabilidad económica para la empresa.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta de mejora para el proceso de fabricación de empaques de caucho natural en Industrias JOLFERB.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar el proceso actual de fabricación de empaques de caucho natural.
- Definir una alternativa de mejora.
- Establecer la rentabilidad del proceso de fabricación de empaques con y sin la propuesta de mejora.

## 1. GENERALIDADES

El presente capítulo ilustra las clases de caucho presentes en el mercado, la importancia de la vulcanización para los procesos de fabricación de caucho y en una segunda parte se describe el látex como parte importante en el contexto de los cauchos sus propiedades físicas y químicas y como es el tratamiento del látex.

En la parte final del capítulo se definen los términos que influyen en la formulación y elaboración del caucho los cuales incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos que se mezclan para otorgar características y propiedades específicas de acuerdo al producto a fabricar.

### 1.1 CLASES DE CAUCHO

El caucho puede ser obtenido de dos maneras, natural o sintéticamente. Naturalmente el caucho se encuentra en diferentes especies de árboles y plantas, mientras que de forma sintética se produce como mezcla y subproducto por medio de procesos químicos.

**1.1.1 Caucho Natural.** Es un polímero elástico, cuya estructura está compuesta por átomos de carbono e hidrógeno, elementos básicos de la química orgánica. Surge de varias plantas como una sustancia lechosa (látex) por medio de un proceso conocido como sangrado, que básicamente consiste en hacer un corte a través de la corteza del árbol para que de este fluya el látex. Una de las formas más simples en las que se presenta el caucho es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es  $C_5H_8$ .

**1.1.2 Caucho Sintético.** El caucho sintético se forma por reacciones químicas como condensación o polimerización de hidrocarburos insaturados. Dichos hidrocarburos tienen compuestos básicos o monómeros los cuales forman moléculas más grandes llamadas polímeros. Los cauchos sintéticos se clasifican de acuerdo a su especie química o a su aplicación final.

Respecto a su aplicación final pueden ser resilientes, piroretardadores, resistentes a los hidrocarburos o a la corrosión. Y por su afinidad química se detalla a continuación en la Figura 1 que resume además las características más importantes de estos materiales.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> CRIOLLO, Andrés X. Caracterización De Caucho Reciclado Proveniente De Scrap y De Neumáticos Fuera De Uso Para Su Potencial Aplicación Como Materia Prima. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2014. p. 9

**Figura 1.** Tipos de caucho sintéticos y sus características.

<b>Tipo de caucho sintético</b>	<b>Característica</b>
Estireno-butadieno (SBR)	Copolimero de 75% butadieno y 25%estireno. Sin vulcanizar es soluble en la mayoría de los solventes hidrocarbonados. Necesita aceleradores poderosos para vulcanizar.
Polibutadieno (BR)	Tienen una flexibilidad muy alta, sobrepasando el hule natural. Buena resistencia a la abrasión, y flexibilidad a baja temperatura.
Isopreno	Con catalizadores el isopreno se acerca a la composición del caucho natural, pero en la práctica varía algo en la longitud y estructura de las moléculas.
Etileno-propileno (EPM-EPDM)	Hidrocarburos etileno y propileno, el cual etileno 50% al 65% en peso. Los dos tienen una resistencia a la luz solar, al ozono y al envejecimiento
Isobutileno-isopreno (IIR)	Copolimero en solución de isobutileno, con porción de isopreno. El poliisobutileno es totalmente saturado y el isopreno proporciona dobles enlaces para su vulcanización.
Caucho de nitrilo (NBR)	Copolimero de acrilonitrilo y butadieno, el acrilonitrilo varía desde 18% a 40%, mayor proporción de acrilonitrilo bajas propiedades físicas y alta resistencia al aceite.
Policloropreno (neopreno)	Líquido parecido al isopreno en estructura química, la diferencia es que tiene un átomo de cloro
Cauchos fluorados (CFM-FKM)	Fluoro-carbono y fluoro-silicona están entre los elastómeros más caros del mercado.
Cauchos de silicona (Q)	Poseen base de silicio, se distinguen por tener átomos alternados de silicio y oxígeno, tienen estabilidad térmica, aislamiento eléctrico, repele al agua y características antiadhesivas.

Fuente: Caracterización De Caucho Reciclado Proveniente De Scrap y De Neumáticos Fuera De Uso Para Su Potencial Aplicación Como Materia Prima. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2014. p. 9.

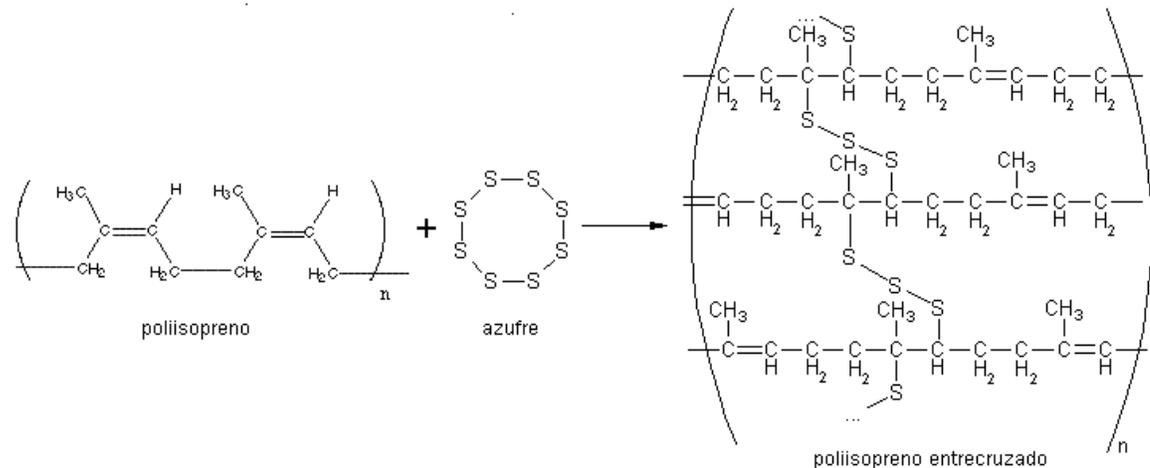
## 1.2 VULCANIZACIÓN DE ELASTÓMEROS

El caucho natural o sintético sin ningún tipo de tratamiento posee propiedades mecánicas muy bajas y carentes de aplicación en la industria. Para mejorar y tener una gran aplicabilidad existe el proceso de curado o vulcanizado, que llega a reticular las moléculas lineales presentes en el caucho crudo, formando una estructura más amplia y con mejores propiedades mecánicas.

Uno de los métodos más comunes para vulcanizar mezclas de caucho es el que emplea azufre como agente vulcanizante. Este sistema de vulcanización necesita además del azufre, una variedad de aditivos que comprenden el sistema de vulcanización. Estos aditivos pueden ser aceleradores, activadores y/o

antioxidantes. La reacción que ocurre del polímero con el azufre durante la vulcanización se resume en la figura 2.<sup>2</sup>

**Figura 2.** Reacción de entrecruzamiento en la vulcanización



Fuente: Evaluación técnica de las propiedades físico-mecánicas de un adhesivo para la industria del reencauche. Tesis de grado Universidad Rafael Landívar. 2015

En el vulcanizado sucede una reacción química entre el azufre y los dobles enlaces de carbono del elastómero, formando moléculas voluminosas que reducen el movimiento molecular.

En el mezclado y vulcanizado se incorporan diferentes ingredientes además de los que componen el sistema de vulcanización, que mejoran las propiedades del caucho, como son los reforzantes, cargas y plastificantes. Estos son mezclados en proporciones adecuadas, en un molde deseado y con presencia de presión – temperatura se obtiene el vulcanizado del material.<sup>3</sup>

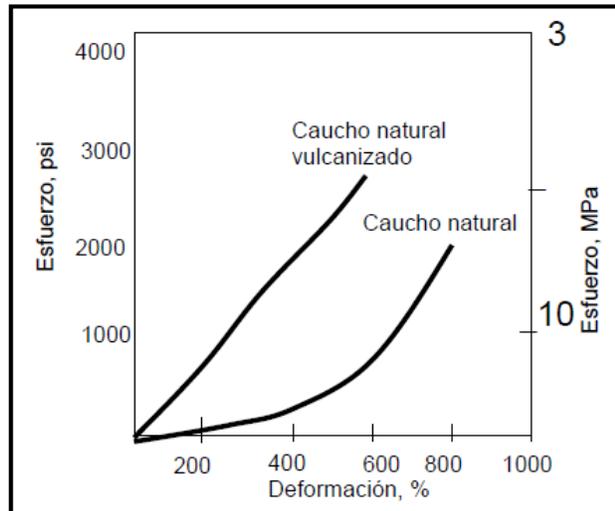
**1.2.1 Azufre.** Este elemento no metálico suele ser dispersado en materiales poliméricos como el caucho, para llevar a cabo el proceso de vulcanización. El azufre tiene una valencia electrónica de 6, por lo que le es posible combinarse con los dobles enlaces de las moléculas de caucho para así modificar las propiedades mecánicas de la mezcla de caucho proporcionando impermeabilidad y resistencia química, además de conservar elasticidad para el producto final. En la figura 3 se observa un diagrama deformación – esfuerzo, realizado al caucho en sus dos etapas, caucho natural y caucho natural vulcanizado.<sup>4</sup>

<sup>2</sup> KLOTH, Juan Pablo, EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN ADHESIVO PARA LA INDUSTRIA DEL REENCAUCHE. TESIS DE GRADO UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR. 2015.

<sup>3</sup> CRIOLLO, Op., Cit., p. 10

<sup>4</sup> Ibid., p. 13

**Figura 3.** Diagrama deformación–esfuerzo del caucho natural vulcanizado



Fuente: Caracterización De Caucho Reciclado Proveniente De Scrap y De Neumáticos Fuera De Uso Para Su Potencial Aplicación Como Materia Prima. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2014. p.13

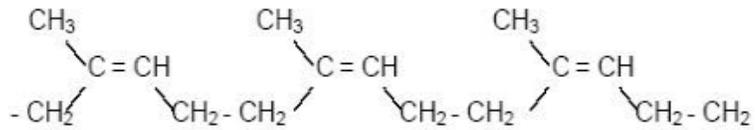
Para las mezclas de caucho es recomendada una cantidad de azufre del 0.5 al 3 % del peso del caucho para artículos blandos y del 15 al 30 % para piezas más duras.

### 1.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CAUCHO

El caucho en su estado natural es un hidrocarburo blanco. La imagen 1 muestra la cadena polimérica del caucho natural en su forma más sencilla, ya antes mencionada (isopreno o 2-metilbutadieno). Su comportamiento varía con la temperatura, estando en estado líquido a 20 °C y sólido en alrededor de -195 °C. De 0 a 10 °C es frágil y opaco, y por encima de 20 °C se torna blando, flexible y translúcido.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> LUNA, Patricio M. Estudio De La Aplicación Potencial De Compuestos Obtenidos Con Residuos De Caucho Reciclado Provenientes De Continental Tire Andina Como Materiales Estructurales. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2013. p. 5

**Imagen 1.** Cadena de polímeros caucho natural



Fuente: Estudio De La Aplicación Potencial De Compuestos Obtenidos Con Residuos De Caucho Reciclado Provenientes De Continental Tire Andina Como Materiales Estructurales. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2013. p. 5

Debido a su naturaleza plástica el caucho adquiere una gran deformación permanente, aunque la plasticidad puede variar por acción de productos químicos. El caucho experimenta un fenómeno denominado deformación residual o estiramiento permanente, que se da cuando el caucho bruto es estirado y deformado durante un tiempo prolongado y este no tiene la capacidad de regresar a su estado inicial.

Todas las propiedades del caucho le dan variedad de aplicaciones en el sector industrial, bien sea para empaques en maquinaria y griferías, en rodillos de imprenta, productos resistentes al envejecimiento, además de neumáticos; el caucho repele el agua, no es hidrosoluble y tiene una biodegradabilidad muy lenta cercana a los 500 años, lo que hace un problema del mismo para el ambiente.<sup>6</sup>

#### 1.4 LÁTEX

El látex es una suspensión coloidal acuosa, generalmente de color blanco, que se obtiene al hacer en la corteza de árboles laticíferos, una incisión en espiral. Esta sustancia está compuesta por gran variedad de elementos como gomas, aceites, azúcares, sales minerales, proteínas, alcaloides, terpenos, ceras, hidrocarburos, almidón, resinas, taninos y bálsamos. La cantidad de cada elemento o compuesto varía de acuerdo a aspectos como la especie vegetal, la parte de la planta en la que se encuentra, la época del año y el tipo de suelo sobre el que crece la planta.

El látex es recolectado en vasos colgados al árbol, bajo la incisión. De los vasos el látex es transferido a cubos para poder ser transportado a los sitios donde posteriormente se hará su respectivo procesamiento. Por lo general, se añade amoníaco como conservante. El amoníaco tiene como finalidad conseguir un producto en dos fases de 30 - 40 % de parte sólida. Este producto se concentra hasta obtener un 60% de parte sólida, con un concentrado de látex amoniacal con un 1,6% de amoníaco en peso. Para evitar la coagulación y la contaminación del concentrado de látex, se añade un conservante secundario, como el

---

<sup>6</sup> LUNA, Op., Cit p. 5

pentaclorofenato sódico, el disulfuro de tetrametiluram, el dimetilditiocarbamato sódico o el óxido de zinc.<sup>7</sup>

**1.4.1 Características del látex.** El látex posee un pH entre 10 y 11 de acidez lo que quiere decir que es un caucho ácido y es muy probable que reaccione con otros materiales.<sup>8</sup> Es un material que se descompone prematuramente, no dura más allá de tres meses, tiempo en el cual se producirá una capa más pastosa en él haciendo que este no se pueda utilizar y no podrá mezclarse con el material líquido restante. Las temperaturas extremas producen en el látex que se descomponga y se coagule.<sup>9</sup>

El látex en su estado líquido se puede aplicar en capas, que después de varias de las mismas y dejando secar entre cada capa, permite construir moldes resistentes de 1/16 a 1/8 de pulgada de espesor, utilizados para vaciados de yeso, concretos, ceras y resinas.<sup>10</sup>

En cuanto a su elongación, es directamente dependiente de las capas aplicadas. Según la cantidad de capas pierde elongación pero aumenta su resistencia. Teniendo para una capa un rango de estiramiento de 200 % y para 90 un rango de 1%. En cuanto a la resistencia a la rotura sucede lo contrario que la elongación, aumenta a medida que haya más capas. Para una capa de espesor, la resistencia a la fuerza es de 10 kilos alcanzando su punto plástico y a 12 kilos su punto de ruptura. Cuando son dos capas, la fuerza en kilos soportada por el látex es de 30 kilos hasta su punto plástico y de 40,5 kilos en su punto de ruptura. La ruptura del látex es dependiente a la elongación del producto. Por lo cual a mayor elongación, mayor es la probabilidad de rotura en el material.<sup>11</sup>

## 1.5 PREPARACIÓN PARA UNA MEZCLA DE CAUCHO

Para la preparación de mezclas de caucho se parte de formulaciones que incluyen una gran variedad de componentes orgánicos e inorgánicos que se mezclan entre sí para formar un producto con propiedades específicas. La selección de los componentes que se van a incorporar en la mezcla depende de la aplicación del producto final. Una formulación de una mezcla de caucho está constituida normalmente por una base elastomérica, agentes reforzantes o cargas,

---

<sup>7</sup> ELLES, Alexander E. y GARCÍA, Cesar A. Mezcla Sinérgica Entre Polihidroxibutirato (PHB) y Caucho Natural (Látex) Para Obtener Un Copolímero. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena, 2012. p. 31

<sup>8</sup> Ibid.

<sup>9</sup> Látex. [Consultado el Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.ecured.cu/L%C3%A1tex>

<sup>10</sup> Ibid.

<sup>11</sup> Ibid.

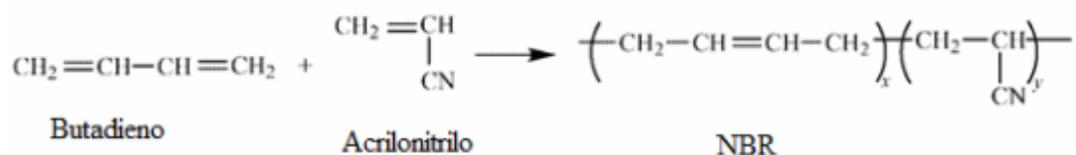
antioxidantes, acelerantes, activadores, agentes de vulcanización y plastificantes.<sup>12</sup>

Luego de tener analizada cada materia prima que se va a incorporar a la formulación, se procede a realizar el pesaje de la mezcla. Es importante aclarar que siempre se formula en PHR, teniendo en cuenta la conversión de dichos PHR a Kg o g según el tamaño de la mezcla a fabricar. Se debe tener en cuenta también el orden de incorporación de cada uno de los componentes de la formulación en la mezcla.<sup>13</sup>

**1.5.1 Base elastomérica.** Son materiales que poseen una propiedad viscoelástica, es decir, recuperan su forma original casi por completo después de liberar una fuerza sobre ellos. La base elastomérica puede estar compuesta por caucho natural, sintético o mezcla de caucho natural y sintético (siempre y cuando estos sean afines), mezclas de cauchos sintéticos, caucho reciclado. La selección del caucho depende de su costo, facilidad de mezclado y aplicabilidad de la pieza final. Por otro lado, existen diferentes grados de cauchos y para saber cuál es el más apropiado a usar en la formulación, se debe tener en cuenta las condiciones a las cuales estará expuesta la pieza terminada, como por ejemplo si va a estar expuesto a solventes químicos o expuesto a temperaturas elevadas.<sup>14</sup>

**1.5.1.1 Caucho nitrilo.** Conocido por su abreviatura NBR, es un copolímero de butadieno y acrilonitrilo, como se observa en la figura 4.<sup>15</sup>

**Figura 4.** Estructura química del caucho nitrilo



Fuente: Desarrollo De Una Formulación De Caucho Nitrilo Con Aplicación Final En Suelas De Calzado Industrial. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar, 2007. p. 17

Esta base elastomérica puede usarse en formulaciones que necesiten resistir fuerzas físicas y abrasión, combinada con cargas como el negro de humo y arcillas reforzantes. Además el emplear el NBR como base otorga al producto una

<sup>12</sup> GONZÁLEZ, Concepción. Componentes involucrados en la formulación de caucho. México. [Consultado el Agosto2016]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6744-Componentes-involucrados-en-la-formulacion-de-caucho.html>

<sup>13</sup> SALDARRIAGA, David. Formulaciones de caucho. Colombia. [Consultado en diciembre2016]. Disponible en: <http://www.rutech.com.co/ver-boletines?download=4:boletin-i-d-i-activo-edicion-no-4>.

<sup>14</sup> GONZÁLEZ, Op., Cit.

<sup>15</sup> MUJICA, Ibrahmir A. Desarrollo De Una Formulación De Caucho Nitrilo Con Aplicación Final En Suelas De Calzado Industrial. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar, 2007. p. 17

alta resistencia a los solventes y aceites, fácil extrusión y buena resistencia al agua. Su temperatura de trabajo está entre los -30 hasta los 125 °C.<sup>16</sup>

**1.5.2 Agentes de vulcanización.** El agente vulcanizador debe ser soluble en el caucho base o en su defecto ser lo suficientemente fino para dispersarse uniformemente en el caucho, además no debe ser tóxico ni teñir. Generalmente para las mezclas de caucho se usa el azufre como agente de vulcanización. Sea el azufre u otro agente vulcanizador debe lograr que se efectúe la vulcanización a un tiempo, presión y temperatura determinada.<sup>17</sup> La vulcanización produce un aumento en la elasticidad, resistencia y general mejora las propiedades mecánicas del material. Su concentración debe estar en un intervalo entre 1 a 3 phr.

**1.5.3 Acelerantes.** Los acelerantes son sustancias que se agregan a la mezcla de caucho con la finalidad de aumentar la rapidez de vulcanización. Además de reducir el tiempo de vulcanización, mejora las propiedades físicas y la estabilidad al envejecimiento del producto final. Los hay de varios tipos dependiendo del sistema de vulcanización y aplicación de la pieza, están los acelerantes ultra rápidos, rápidos, rapidez media y de acción retardada. La cantidad recomendada del componente es mínima, de 0,5 a 1,0 phr.<sup>18</sup>

**1.5.4 Activadores.** Junto con los aceleradores, que son con los que primero reaccionan, favorecen la velocidad de vulcanización, activando al mismo tiempo al azufre para iniciar la vulcanización. Los activadores más usados en las formulaciones de mezclas de caucho, son el óxido de zinc en concentraciones de 2 - 4 phr combinado con el ácido esteárico en concentraciones de 1 - 3 phr. El ácido esteárico además de ser un activador, reduce la viscosidad durante el mezclado funcionando como un lubricante. En la figura 5 se observa, en las distintas reometrías, el efecto de los activadores en el tiempo de vulcanización, manifestado en los aumentos de torque.<sup>19</sup>

---

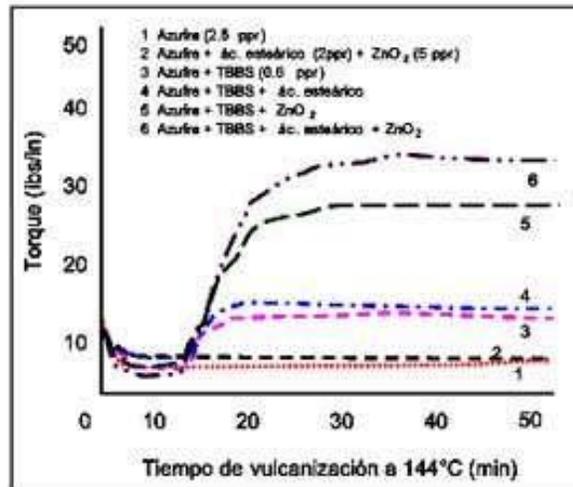
<sup>16</sup> Ibid.

<sup>17</sup> PÉREZ ROSAS, Humberto. Recuperación y uso del solvente y producto, en la obtención de la 4, 4'-ditiodimorfolina. México: Instituto Politécnico Nacional (IPN). 2016.

<sup>18</sup> GONZÁLEZ, Op., Cit.

<sup>19</sup> Ibid.

**Figura 5.** Efecto de los activadores en el tiempo de vulcanización



Fuente: Componentes involucrados en la formulación de caucho.  
Disponibile en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6744-Componentes-involucrados-en-la-formulacion-de-caucho.html>

**1.5.5 Antioxidantes.** Los antioxidantes son sustancias que retardan la posible degradación por oxidación de la pieza de caucho vulcanizado. Ciertos factores como el calor, la humedad y la luz ultravioleta aceleran la oxidación del material. La cantidad de antioxidante a usar en la formulación depende del tipo caucho a proteger y de la vida útil que se espera. Deben ser agregados por lo general entre 0,5 a 4 phr según se requiera.<sup>20</sup>

**1.5.6 Plastificantes.** Se usan para ablandar y homogenizar la mezcla de caucho. Esto lleva a cabo debido a que el plastificante reduce la viscosidad de la mezcla haciendo más fácil la incorporación de las demás materias primas. Varían de acuerdo a la afinidad que tenga principalmente con la base elastomérica. Para los cauchos nitrilo por ejemplo, es necesario utilizar plastificantes de tipo éster derivados de ciertos ácidos orgánicos y alcoholes, para obtener una viscosidad de procesado que permita realizar un mezclado homogéneo. Su rango de aplicación es de 5 - 30 phr.<sup>21</sup>

**1.5.7 Agentes reforzantes.** Cumplen la función de modificar las propiedades mecánicas, eléctricas y ópticas del producto, además de reducir costos por aumentar masa de la mezcla y ser más económicos que las demás materias

<sup>20</sup> JORGE MANDELBAUM. Envejecimiento de artículos de caucho. En: Nivel de utilización de los antidegradantes

<sup>21</sup> GONZÁLEZ, Op., Cit.

primas. Estos pueden ser por lo general de tipo orgánico e inorgánico, cargas negras o blancas y rebaba de procesos anteriores.<sup>22</sup>

**1.5.7.1 Negro de Humo.** Quizá uno de los reforzantes más empleados en las mezclas de cacho es el negro de humo, debido a que este acrecienta la resistencia a la abrasión y a la tensión, además de funcionar como pigmento y dar el color negro característico de muchos productos. Su inclusión puede hacerse en intervalos comprendidos entre 5 y 50 phr.<sup>23</sup>

La fabricación de una mezcla de caucho es un proceso en el que se debe analizar además de la aplicación del producto final, si este estará expuesto a algún fluido o ambiente en particular (hidrocarburos, radiación solar directa), las propiedades mecánicas finales deseadas (módulos específicos de compresión o tracción), para así hacer una correcta selección de las materias primas que se van a incluir en la mezcla, teniendo en el mercado gran variedad de ayudas al proceso y aditivos que mejoran determinadas características del producto.

## **1.8 MARCO LEGAL**

A continuación se presentará las normas correspondientes sobre cauchos a nivel Colombia ilustradas en la tabla 1.<sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> Ibid

<sup>23</sup> BELTRÁN, M. y MARCILLA, A. Tema 2: Tipos De Plásticos, Aditivacion y Mezclado. En: Tecnología De Polímeros. p. 75..

<sup>24</sup> FINAGRO. Normatividad Vigente. p. 8

**Tabla 1. Marco Jurídico Nacional**

<b>NORMA</b>	<b>REGULACIÓN</b>
<b>Resolución ICA No. 1478 de 2006</b>	Por la cual se adoptan normas de carácter fitosanitario y de recursos biológicos para la producción, distribución y comercialización de material de propagación vegetativa de caucho natural ( <i>Hevea</i> sp)
<b>LEY 686 DE 2001 (agosto 15)</b>	Por la cual se crea el Fondo de Fomento Cauchero, se establecen normas para su recaudo y administración y se crean otras disposiciones.
<b>DECRETO NUMERO 2025 DE 1996 (noviembre 6)</b>	Por el cual se reglamenta el Control Interno.
<b>DECRETO NUMERO 3244 DE 2002 (diciembre 27)</b>	Por el cual se reglamenta la Ley 686 de 2001.
<b>Procedimiento de recaudo</b>	FONDO NACIONAL DE FOMENTO CAUCHERO PROCESO DE RECAUDO DE LA CUOTA DE FOMENTO CAUCHERO LEY 686 DE 2.001 DECRETO REGLAMENTARIO 3244 DE 2002
<b>Formato de recaudo</b>	Formato de recaudo Ley 686 de 2001 - Fondo Nacional de Fomento cauchero

Fuente: FINAGRO. Normatividad Vigente

La normativa de la tabla 1, regula y modifica las actividades en materia agropecuaria relativas al caucho.

Las generalidades incluyen aspectos importantes para entender el desarrollo del presente proyecto desde los conceptos básicos relacionados al caucho, vulcanización de elastómeros, preparación de una mezcla de caucho hasta el marco legal. Lo anterior, que en conjunto, permite entender el proceso que se lleva actualmente en la compañía industrias JOLFERB para hacer un correcto diagnóstico.

## **2. DIAGNOSTICO DE LA EMPRESA**

Con la finalidad de contextualizar el proyecto de grado, en este capítulo se realiza una descripción de la empresa junto con los procesos que se trabajan actualmente en la misma para la fabricación de empaques de caucho, en donde inicialmente se describen una serie de pruebas físicas para el caucho con el fin de determinar los parámetros a evaluar en la investigación, se describen los equipos utilizados en la fabricación de los empaques y finalmente se habla sobre el planteamiento para el diseño de experimentos y la alternativa propuesta.

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

JOLFERB es una empresa manufacturera en fabricación de empaques de caucho vulcanizados, algunos mostrados en la tabla 2, el compromiso de esta empresa es el de satisfacer las necesidades de los clientes, integrando la tecnología y los estudios necesarios para un mejoramiento de calidad y procesos. La empresa tiene más de 50 años en el mercado, manteniendo por muchos años los niveles de ventas y crecimiento sostenido.

La oferta de productos que la empresa proporciona se encuentran en diferentes categorías como son la línea de construcción, automotriz, industrial y de petróleos. A continuación se presenta una muestra de algunos productos que se fabrican en la empresa.

**Tabla 2.** Productos fabricados en industrias JOLFERB

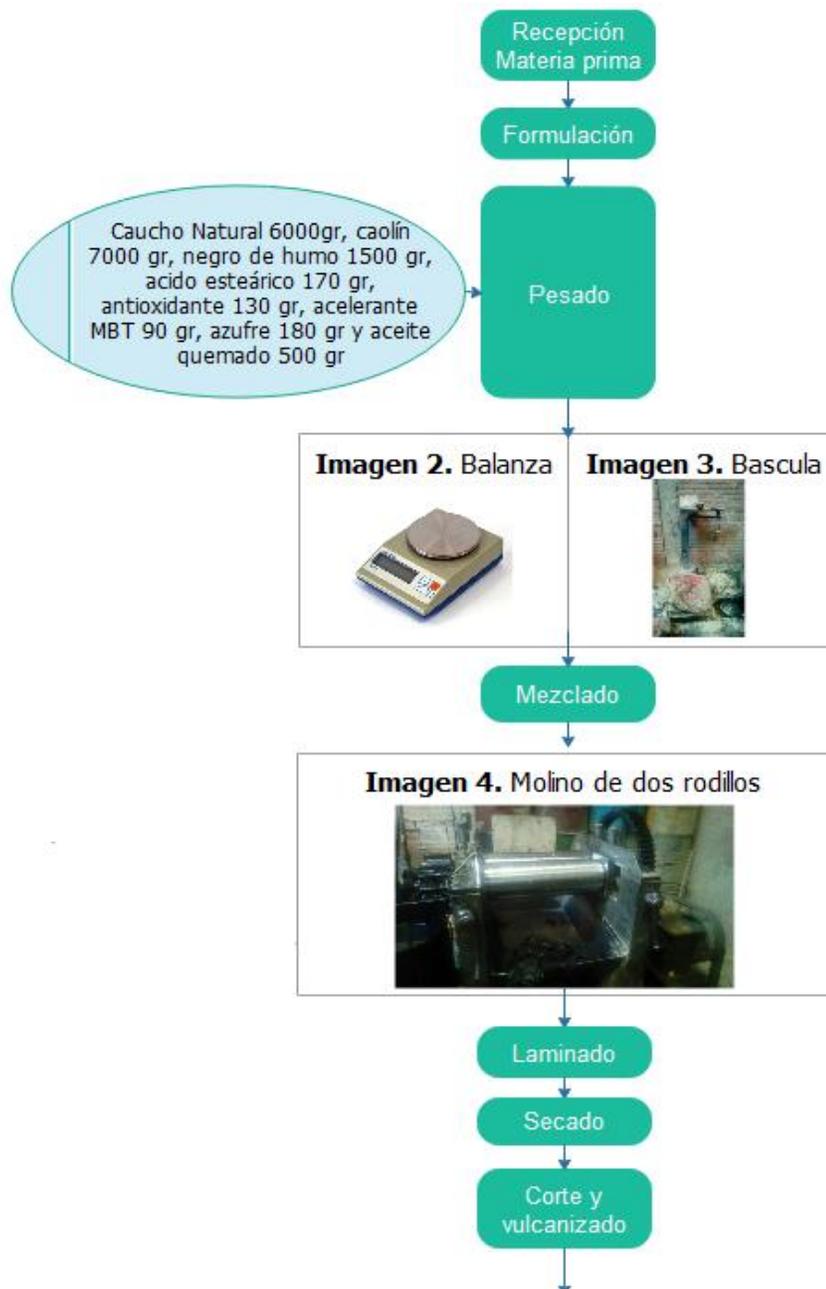
PRODUCTO	IMAGEN DE MUESTRA
<p>CONO TORNILLO: Empleado en la grifería del sanitario como empalme de las demás piezas.</p>	
<p>ZAPATAS: Absorbe y amortigua las irregularidades de distintos materiales como sillas, bastones y demás.</p>	
<p>BUJES REDUCTORES: El casquillo de caucho se utiliza en una variedad de aplicaciones, tales como los amortiguadores, aisladores de vibración, resistencias a la abrasión, y así sucesivamente.</p>	
<p>EMPAQUES VARIOS PARA GRIFERIA: Se emplean para dar mayor pulido en las partes de difícil acceso y evitar fugas.</p>	

Fuente: Industrias JOLFERB

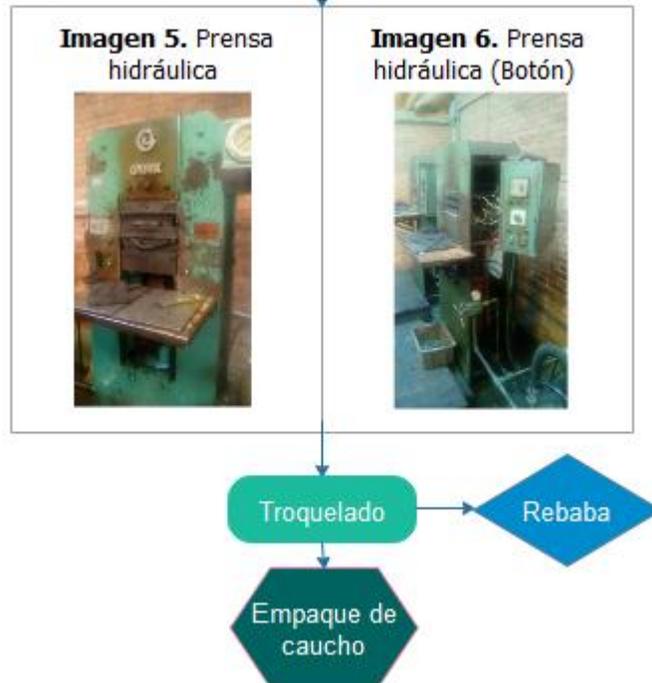
## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso que se presenta en esta sección es el actualmente utilizado por empresas JOLFERB para la fabricación de diversos productos, este proceso se realiza utilizando diversos equipos y materias primas de forma manual y de acuerdo a los requerimientos solicitados por el cliente. El proceso en términos generales se resume de la siguiente manera en la figura 6:

**Figura 6.** Descripción del proceso actual industrias JOLFERB



**Figura 6. (Continuación)**



Fuente: industrias JOLFERB

- **Recepción materia prima:** el proceso inicia con la recepción de las distintas materias primas. El caucho natural traído desde Caqueta y Cundinamarca y las demás materias primas como las necesarias en el sistema de vulcanización (óxido de zinc, ácido estearico, MBT y azufre), antioxidantes, reforzantes y plastificantes suministradas por proveedores en Bogotá.
- **Formulación:** actualmente la empresa no hace su formulación en PHR (partes por cien de caucho). Según requerimiento del cliente, se planatea es una formulación en gramos de materia prima variando en la misma únicamente la cantidad de plastificante (aceite quemado que funciona como ablandador en la mezcla de caucho).
- **Pesado:** cuando se tienen clara las cantidades de materia prima a utilizar en la formulación se procede a pesar el caucho Natural 6000gr, caolín 7000 gr, negro de humo 1500 gr, ácido esteárico 170 gr, antioxidante 130 gr, acelerante MBT 90 gr, azufre 180 gr y aceite quemado 500 gr. Las cantidades más pequeñas se pesan en la balanza granataria digital (Imagen 2) como lo son el ácido estearico, antioxidante, acelerante, óxido de zinc y las grandes como el negro de humo caolín y caucho natural en la báscula (Imagen 3).

- **Mezclado:** se realiza en un molino abierto que lleva dos rodillos que giran en sentidos opuestos (Imagen 4). En dicho molino se van incorporando las distintas materias primas empezando con el caucho natural que es la base elastomérica. Luego se añade el antioxidante y las demás materias primas sin un orden establecido (reforzantes caolín, negro de humo, óxido de zinc, ácido estearico, MBT, azufre y el plastificante). Este proceso se lleva a cabo a una temperatura entre 25 a 30 °C para evitar una prevulcanización del compuesto. La mezcla se hace pasar una y otra vez por el molino hasta que esta se homogeniza en un tiempo aproximado de 30 a 40 minutos.
- **Laminado:** en esta fase la mezcla homogenizada es pasada por el molino (Imagen 4) para introducirla por los rodillos que están separados en un espesor específico que facilita los procesos posteriores.
- **Secado:** del proceso de laminado sale una plancha de unos 8 mm de espesor de 2,5 a 3 metros de largo y 0,5 a 0,6 metros de ancho, la cual es colocada sobre una mesa de acero inoxidable durante 5 minutos.
- **Corte y vulcanizado:** esta parte del proceso se realiza en las prensas hidráulicas, bien sea en las que son operadas de manera manual por un sistema de palanca (Imagen 5) o en su defecto en las que funcionan automáticamente (Imagen 6). La lámina previamente secada se corta según las cavidades del molde a usar y se procede a vulcanizar en las prensas eléctricas de 220 voltios a una temperatura de 110°C y en un tiempo de 10 minutos.
- **Troquelado:** en esta fase se deja enfriar el molde para posteriormente retirar el empaque y refilarlo de manera interna y externa obteniendo así la forma del producto terminado (empaque de caucho). Del troquelado queda algo conocido como la rebaba que es un subproducto que no es reutilizado en este proceso sino para otros con piezas de menor calidad.

### 2.3 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICA

Teniendo presente el proceso de fabricación de empaques de caucho que se lleva actualmente en la compañía, se puede evidenciar que las devoluciones mensuales por producto no conforme son de 15,3% de la producción y que generan pérdidas por 1'816.846,056 pesos mensuales. Lo anterior, determinado del promedio de los datos de 10 meses del año 2016 presentados en la tabla 3:

**Tabla 3.** Devolución mensual JOLFERB

MES	TOTAL PRODUCCION (COP)	DEVOLUCION MENSUAL (%)	TOTAL DEVOLUCION (COP)
ENERO	6053167	14,3	865602
FEBRERO	8283493	13,1	1085137
MARZO	16044265	17,6	2823790
ABRIL	7863727	16,1	1266060
MAYO	15415096	12,7	1957717
JUNIO	13575237	16,2	2199188
JULIO	10546257	13,8	1455383
AGOSTO	8826601	18,2	1606441
SEPTIEMBRE	19427551	16,8	3263828
OCTUBRE	11586693	14,2	1645310

Fuente: Industrias JOLFERB

Para identificar las problemáticas que genera las devoluciones en los diez meses presentados en la tabla 3 por parte del cliente, se plantea un análisis Pareto para dilucidar las razones que generan esta situación y cuáles de las mismas son las de mayor incidencia.

**2.3.1 Análisis Pareto.** Se realizó un análisis estadístico por medio de la obtención de los datos de la planta de 10 meses del año 2016 de enero a octubre. Presentando así los distintos motivos por los que son devueltos los productos, las veces o frecuencia con que ocurren y el total acumulado para cada frecuencia. Los datos están organizados de mayor a menor frecuencia según la información recolectada.

**Tabla 4.** Razones de devolución mensual JOLFERB

#	Razón de devolución	Frecuencia	Frec. Acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	Defectos de dureza	36	36	40%	40%
2	Producto en mal estado	16	52	18%	58%
3	Manchado	15	67	17%	74%
4	Terminación equivocada	6	73	7%	81%
5	Pedido duplicado	5	78	6%	87%
6	Baja rotación	5	83	6%	92%
7	Error en cantidad enviada	4	87	4%	97%
8	Otros	3	90	3%	100%
	Total	90			

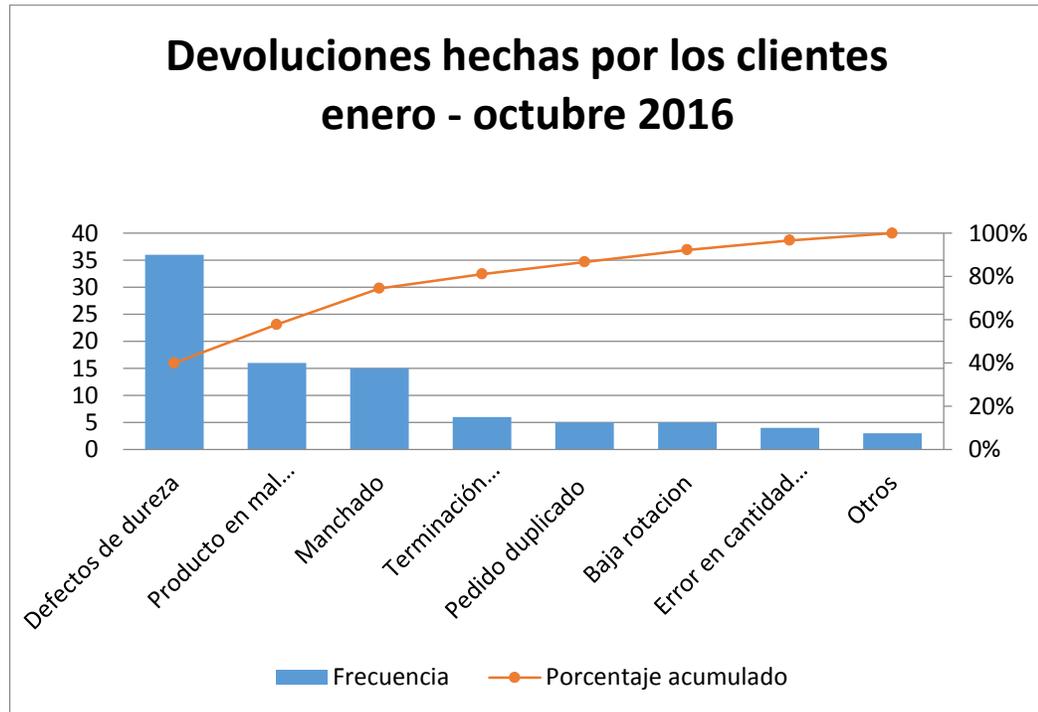
Fuente: Industrias JOLFERB

Las razones de devolución numeradas en la tabla 4 se explican de la siguiente manera:

- **Defectos en dureza:** las durezas medidas por el cliente no están dentro del intervalo 35 a 45 shore A.
- **Producto en mal estado:** la pieza presenta oxido, perdiendo propiedades y manchando las superficies donde es usada.
- **Manchado:** el producto no está totalmente homogenizado, lo que genera manchas de color negro sobre las superficies donde es realizada la prueba para el manchado.
- **Terminación equivocada:** residuos adheridos a los moldes reprocesados de una vulcanización a otra, hacen que la pieza quede con grumos o formas distintas a las del molde.
- **Pedido duplicado:** producto enviado previamente.
- **Baja rotación:** con ciertos clientes se estipula un tiempo para vender el producto o regresarlo a la compañía.
- **Error en cantidad enviada:** se envía un lote con piezas faltantes o demás.

- **Otros:** razones como tardanza en los tiempos estipulados o productos mal empacados o errores en facturación.

**Gráfica 1.** Devoluciones clientes industrias JOLFERB



Fuente: Industrias JOLFERB

De este análisis se tiene que el 74 % de las devoluciones está concentrado en las 3 primeras razones, siendo la más importante y que se presenta con mayor frecuencia los defectos en dureza.

**2.3.2 Identificación de causa raíz.** La identificación de causa raíz se realiza para tener claridad en las principales problemáticas encontradas en el análisis Pareto. Para lo cual se desarrolló una metodología conocida como las 5M que busca identificar la causa raíz de dichas problemáticas limitando áreas concretas en el proceso para encontrar la parte específica en que está fallando.

**2.3.2.1 Método de las 5 “M”:** es un análisis estructurado que por medio de cinco ejes principales busca identificar las posibles causas de un problema. Dichos ejes, para seguir un orden que permita abarcar gran parte de las causas y enfocar de manera más concreta el principal problema. Las “M” corresponden a máquina, método, mano de obra, medio ambiente y materia prima.

**Imagen 7.** Diagrama de Ishikawa para el producto no conforme por defectos en dureza.



Fuente: Industrias JOLFERB

En el diagrama de Ishikawa (imagen 7) están todas las posibles causas que generan un producto no conforme, divididas en 5 ítems. A continuación se mencionan las más importantes para cada apartado con su respectiva explicación.

**MAQUINA:** debido a la falta de mantenimientos preventivos a los equipos en planta, en algunas ocasiones (5 en el año 2016) en las prensas hidráulicas el pirómetro encargado de medir la temperatura de vulcanización (110 °C) para su respectivo control manual, empezó a presentar fallas dando temperaturas erradas. Lo que originó un empaque sin elasticidad de apariencia pardo oscura y algo quebradizo. La temperatura registrada por el pirómetro era realmente superior a los 110°C, por lo que la mezcla se sobrecalentó perdiendo sus propiedades (dureza, resistencia, elasticidad y apariencia). Además de lo anterior la falta de mantenimiento ha ocasionado una situación similar en el manómetro. La presión, así como la temperatura, es un factor importante en la vulcanización, para que la preforma llene todo el espacio del molde. Presiones inadecuadas pueden llegar a afectar la vida útil del molde o inclusive a tener fallos en el llenado del empaque haciéndolo más blando.<sup>25</sup>

**METODO:** en la actualidad la empresa hace sus formulaciones en peso no en PHR(partes por cien de caucho) por llevar un proceso tradicional y desconocer la manera correcta de hacerlas. Por lo tanto se calcularon los PHR para cada materia prima de acuerdo con la cantidad masica empleada por industrias jolferb. Lo anterior para realizar un analisis comparativo respecto a los PHR recomendados según revision bibliografica para cada materia prima.

Como se puede observar en la tabla 5 todas la materias primas (a excepcion del negro de humo estan por fuera de los limites recomendados. Para el caolín al ser una carga reforzante en exceso en la mezcla, hace que esta se sature perdiendo propiedades fisicas y mecanicas en el vulcanizado. El plastificante (aceite quemado) de igual forma que el caolin esta por encima de los limites recomendados, disminuyendo directamente la dureza de la mezcla vulcanizada.

---

<sup>25</sup> MIANAMONTO, Op., Cit.

**Tabla 5.** Formulación caucho natural industrias JOLFERB

Materia Prima	Dosificación (gr)	PHR calculados	Límites de PHR
Caucho natural	3000	100	
Caolín	7000	233,33	20 - 150 PHR <sup>26</sup>
Negro de humo	1500	50	5 - 50 PHR <sup>27</sup>
Acido esteárico	170	5,67	1 - 3 PHR <sup>28</sup>
Óxido de Zinc	130	4,33	2 - 4 PHR <sup>29</sup>
Antioxidante	130	4,33	0,5 - 4 PHR <sup>30</sup>
M.B.T	90	3	0,5 - 1,0 PHR <sup>31</sup>
Azufre	180	6	1 - 3 PHR <sup>32</sup>
Aceite quemado	500	16,67	5 - 10 PHR <sup>33</sup>
	12700	Total	

Fuente: Industrias JOLFERB

Además de no tener en cuenta los PHR de cada sustancia en la mezcla, la rebaba generada en el proceso de troquelado no es reincorporada al proceso para economizar costos bien sea en reforzantes o base elastomérica.

<sup>26</sup> KOPRIMO. Especificaciones Caolín (Crown Clay). p. 1

<sup>27</sup> BELTRÁN, M. y MARCILLA, A. Tema 2: Tipos De Plásticos, Aditivación y Mezclado. En: Tecnología De Polímeros. p. 75.

<sup>28</sup> GONZÁLEZ, Concepción. Componentes involucrados en la formulación de caucho. México. [Consultado el Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6744-Componentes-involucrados-en-la-formulacion-de-caucho.html>

<sup>29</sup> TORMENTO, Op., Cit.

<sup>30</sup> JORGE MANDELBAUM. Envejecimiento de artículos de caucho. En: Nivel de utilización de los antidegradantes

<sup>31</sup> GONZÁLEZ, Op., Cit.

<sup>32</sup> Ibid.

<sup>33</sup> Ibid

El siguiente balance de masa de la tabla 6 evidencia la cantidad de rebaba que se genera en el proceso así como las entradas y salidas del mismo.

**Tabla 6.** Entradas y salidas de masa en la fabricación de empaques

Entradas	Dosificación (gr)	Salidas	Dosificación (gr)
Caucho natural	3000	Producto terminado	11684
Caolín	7000	Rebaba	1016
Negro de humo	1500	-	-
Acido esteárico	170	-	-
Óxido de Zinc	130	-	-
Antioxidante	130	-	-
M.B.T	90	-	-
Azufre	180	-	-
Aceite quemado	500	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>12700</b>		<b>12700</b>

La rebaba generada en el proceso de fabricación de empaques de caucho es el 8% del total de la mezcla (1016 gr), subproducto que es empleado ocasionalmente para la elaboración de productos de menor calidad como chupas o retenedores de puertas.

**MANO DE OBRA:** el personal en general operarios y directivos llevan mucho tiempo en la compañía por lo que no hay un interés por cambiar el proceso actual. Por el contrario hay una resistencia al cambio, prueba de ello es que se tiene la misma formulación en peso de la tabla 4 desde 1960. Sumado a esto, la falta de capacitación al personal a llevado a intentos fallidos de formulaciones con una base elastomérica de caucho nitrilo, pedido por un 50 % de los clientes por sus mejores propiedades en dureza y aspecto.

**MEDIO AMBIENTE:** las elevadas temperaturas ambientales (28°C o mas), aceleran el deterioro de la pieza. Las fuentes de calor externas (maquinas de la planta) incrementan la temperatura ambiente, haciendo que los artículos ya fabricados sean sometidos constantemente a calor, afectando las propiedades del producto endureciendolo o ablandandolo en un tiempo de exposición prolongado (meses de almacenamiento).<sup>34</sup> Conjuntamente la falta de organización y limpieza en planta contribuyen a la contaminación de la materia prima y a su vez una mala dosificación de la misma.

**MATERIA PRIMA:** hay un mezclado deficiente, las materias primas son incorporadas sin un orden específico. La norma NTC 898 (Caucho. Materiales, equipos y procedimientos para mezcla de compuestos patrón y Preparación de láminas vulcanizadas) o ASTM D3182 establece un orden de incorporación, que permite un mayor aprovechamiento de las propiedades que cada materia prima confiere a la mezcla. En la actualidad solo se tiene en cuenta el orden de incorporación del antioxidante y el caucho natural. El orden sugerido por la norma para que las distintas materias primas cumplan de manera adecuada su función en la mezcla es el siguiente: (1) caucho o la base elastomérica, (2) 50 % de la carga reforzante, (3) 50% restante de la carga, (4) activadores (óxido de zinc y ácido esteárico), (5) Acelerantes y (6) el agente vulcanizante.<sup>35</sup>

## **2.4 INDICADOR OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS O EFICACIA GLOBAL DE EQUIPOS PRODUCTIVOS)**

Para tener un punto de comparación que permita establecer una mejora en el proceso de fabricación de empaques de caucho, se plantea una herramienta que cuantifica la efectividad y productividad tanto del proceso actual como del alternativo, mediante un porcentaje que indica la eficacia real del proceso productivo. Esta herramienta es conocida como el indicador OEE que se calcula a partir de tres factores en porcentaje:

$$\text{OEE} = \text{disponibilidad} * \text{rendimiento} * \text{calidad}.$$

A continuación en la imagen 8 se muestra la manera de obtener los distintos factores ya mencionados. Donde la disponibilidad es el cociente entre el tiempo productivo y tiempo disponible, el rendimiento el cociente de la producción real y la capacidad productiva y la calidad entre la producción buena o en buen estado y la producción real.<sup>36</sup>

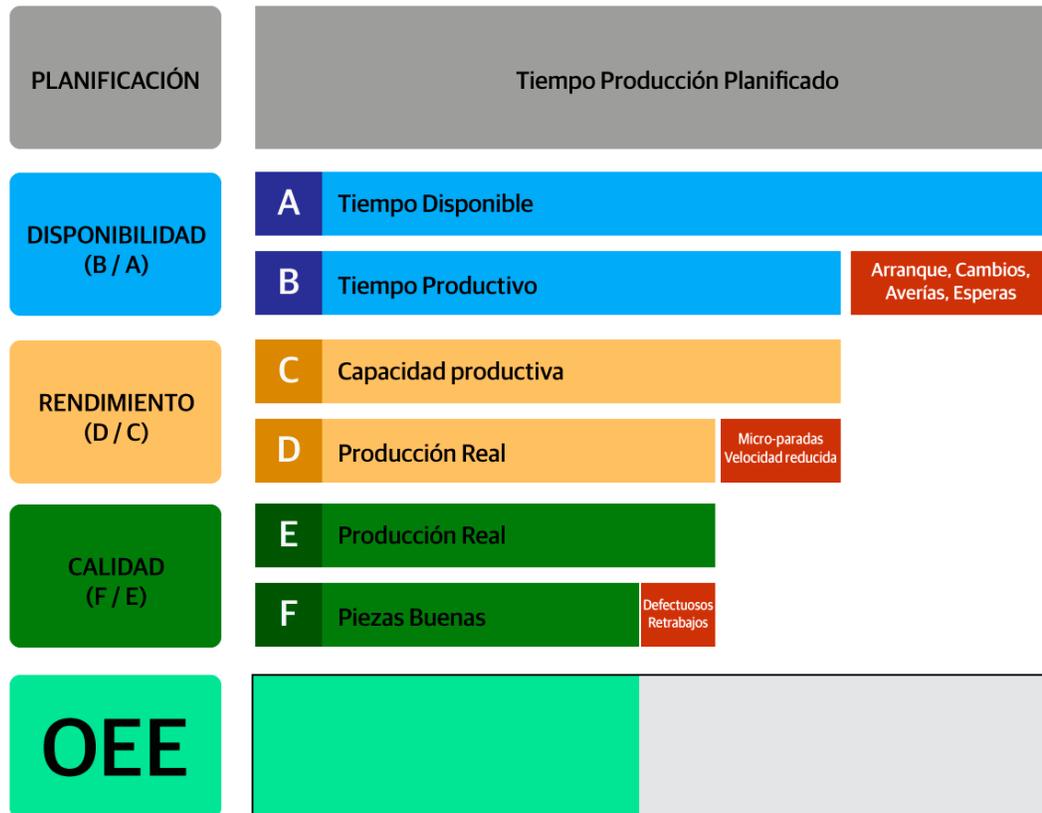
---

<sup>34</sup> RUBITEC. Cómo envejecen los productos de caucho. En: Calor, Oxígeno

<sup>35</sup> POSADA-CORREA, JUAN CARLOS, et al. Estudio comparativo de negro de humo y alúmina como cargas reforzantes en mezclas de caucho natural. *Revista UIS Ingenierías*, 2014, vol. 13, no 2.

<sup>36</sup> Calcular OEE. [Consultado el Marzo 2017]. Disponible en: <http://www.sistemasoe.com/oe/para-principiantes/98-calculer-oe>

**Imagen 8.** Calculo del indicador OEE



Por consiguiente para calcular el indicador OEE en industrias JOLFERB se tienen los datos promedio de una semana de trabajo (del 27 al 31 de marzo del 2017), durante un turno de 8 horas (de 8 am a 5 pm) con la presencia de 4 trabajadores, una persona en el molino, dos personas encargadas de las prensas hidráulicas y una encargada de troquelar.

**Tabla 7.** Indicador OEE industrias JOLFERB

PLANIFICACIÓN (Turno 8 h)	Tiempo disponible : 8 horas	100%
	Velocidad estándar: 108 piezas/hora	
	Objetivo: 864 piezas/turno	
DISPONIBILIDAD	Solo 7 h productivas de 8 disponibles, por cambio de turnos, tiempos de arranque, cambio de moldes y retrasos.	87,50%
	Capacidad productiva: 756 piezas/turno	
RENDIMIENTO	Fabricadas una media de 81 piezas/hora, por reprocesos.	75%
	Piezas reales fabricadas: 567 piezas/turno	
CALIDAD	Del total de piezas fabricadas, una media de 102 piezas son defectuosas	82,01%
	Piezas bien fabricadas: 465 piezas/turno	
OEE	Disponibilidad 87,50% Rendimiento 75% Calidad 82,01%	53,82%
	Se han fabricado 465 piezas en buen estado durante el turno, frente a una capacidad productiva de 864 piezas por turno.	

Fuente: Industrias JOLFERB

De la tabla 7 se tienen los porcentajes calculados de cada factor (disponibilidad, rendimiento y calidad), con un resultante de 53,82 % para el indicador OEE. Lo que indica que la eficiencia está por debajo del 60 %, respecto al objetivo propuesto por la compañía de 864 piezas por turno. Además de esto, el producto

no conforme mencionado en anteriores analisis, es detectado como pieza defectuosa ocasionalmente. Teniendo asi para el factor calidad 102 piezas defectuosas de las cuales el 74,51% son por defectos en dureza (76 piezas). Lo cual afecta considerablemente el porcentaje de la calidad y por ende el del indicador OEE.

## 2.5 ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL CLIENTE

Se realizó una encuesta a los principales clientes de la compañía para conocer las sugerencias, fidelidad e inconformidades que se tienen respecto a los empaques de caucho actualmente fabricados. La encuesta fue realizada en linea por ser la opcion mas economica y rapida, a 10 de los mas importantes clientes de industrias JOLFERB. Esta consta de 13 preguntas elaboradas en conjunto con la compañía (Anexo E) y de la cuales se extraen los datos mas pertinentes para enacaminar la propuesta de mejora en la tabla 8.

**Tabla 8.** Aspectos importantes de la encuesta de satisfacción del cliente

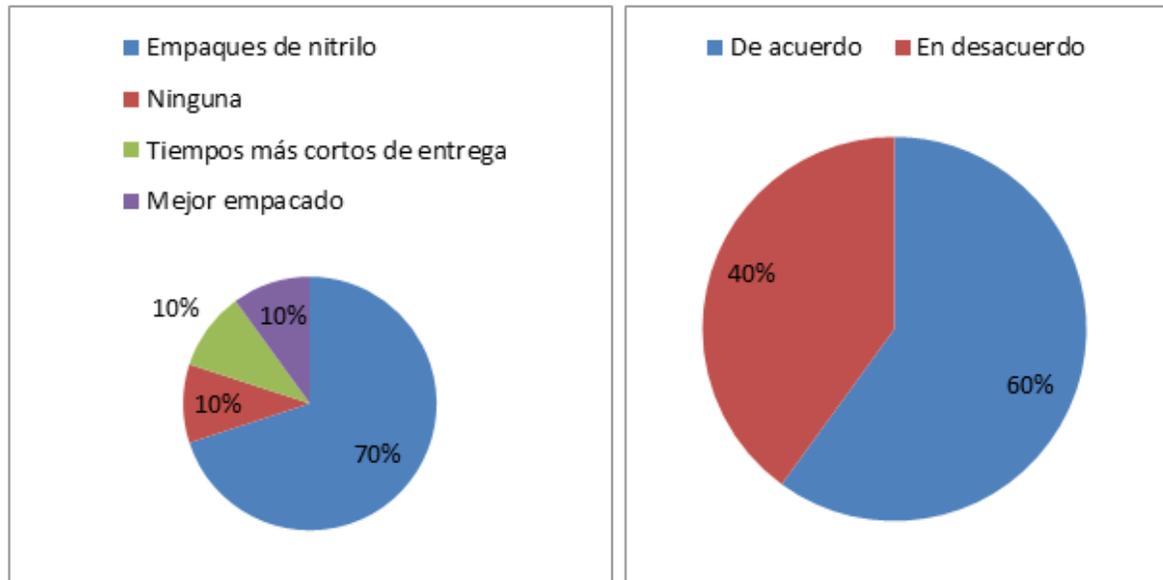
<b>CLIENTE</b>	<b>Dureza acorde a lo solicitado</b>	<b>Productos competitivos</b>	<b>Sugerencia</b>
<b>AURELIO HERNANDEZ</b>	En desacuerdo	En desacuerdo	Empaques de nitrilo
<b>AVIANCA S.A.</b>	En desacuerdo	De acuerdo	Ninguna
<b>COBRANZA EFECTIVA</b>	En desacuerdo	De acuerdo	Tiempos más cortos de entrega
<b>COEFECTIVA S.A.S.</b>	En desacuerdo	En desacuerdo	Empaques de nitrilo
<b>COMERCIALIZADORA TODO FACIL</b>	En desacuerdo	De acuerdo	Empaques de nitrilo
<b>DISAN S.A.</b>	En desacuerdo	En desacuerdo	Empaques de nitrilo
<b>FUNDICIONES RAMIREZ</b>	En desacuerdo	De acuerdo	Mejor empacado
<b>INDUSTRIAS HERVIL</b>	En desacuerdo	De acuerdo	Empaques de nitrilo
<b>MASCOLANDIA S.A.S</b>	En desacuerdo	En desacuerdo	Empaques de nitrilo
<b>RIOPLAST S.A.</b>	En desacuerdo	De acuerdo	Empaques de nitrilo

Fuente: Industrias JOLFERB, ANEXO E.

De la encuesta realizada el 100 % de los clientes encuestados han tenido algún inconveniente con la dureza. El 40 % piensa que la empresa no ofrece productos

competitivos y un 70% sugiere empaques con base en caucho nitrilo. Como se puede apreciar en la gráfica 2:

**Gráfica 2.** Aspectos más relevantes de la encuesta



Con lo anterior, se evidencia la necesidad de lograr una formulación con caucho nitrilo exitosa que además de atender la sugerencia del cliente, permita minimizar los inconvenientes por dureza.

Los cauchos NBR son más resistentes a agentes atmosféricos y al agua. Tienen una mayor dureza por su estructura polimérica (1,2-butadiene y el butadieno 1.3) frente al caucho natural (2-metilbutadieno).<sup>37</sup> Además de ser más duro y resistente que el caucho natural, el caucho nitrilo o NBR presenta una mejor apariencia del producto terminado, esto debido a que por afinidad química se hace necesaria la inclusión, para mezclas de este tipo, de plastificantes de mayor calidad. Un ejemplo de estos plastificantes es el DOP que confiere al producto final mejor aspecto y brillantez que un aceite lubricante, usado generalmente para mezclas con caucho natural

<sup>37</sup> BILURBINA ALTER, Luis; LIESA MESTRES, Francisco. *Corrosión y protección*. Edicions UPC, 2003. p. 98

### **3. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

Los problemas presentados a la hora de plantear una mezcla de caucho alteran las propiedades mecánicas del producto y por ende la satisfacción del cliente. Para una mezcla de caucho en primera instancia se deben tener presentes los elementos a incluir, teniendo en cuenta para la selección de los mismos la aplicación de la pieza final y los requerimientos del cliente. Los empaques para grifería necesitan que el material sea lo suficientemente tenaz, rígido y resistente para un mínimo de presión de agua de 20 psi. Por su parte el cliente establece una dureza entre 35 y 45 shore A para dar un visto bueno al producto y como sugerencia en la encuesta realizada, se solicitan formulaciones que contengan como base caucho nitrilo.

Por tal razón se plantea una formulación alterna con la que se obtenga un producto más resistente, formulado en PHR y que satisfaga las necesidades del cliente. Para tal fin se toma como base la formulación actual presentada en el diagnóstico, variando en esta su base elastomérica (caucho NBR por caucho natural), su plastificante (DOP por aceite quemado), incorporando rebaba de procesos anteriores buscando economizar costos y un acelerante más que complemente al existente y de mayor estabilidad a la vulcanización. Además de esto se plantea la formulación en PHR para que cada materia prima cumpla adecuadamente su función dentro de la mezcla, incorporando cada una de las mismas según orden de la norma NTC 898. Dicha formulación se emplea en un diseño de experimentos que permita establecer las condiciones de tiempo de vulcanización y cantidad de platificante necesarias para cumplir con los requerimientos cliente.

Para la alternativa de mejora se diseña un análisis factorial  $2^2$  para analizar la influencia de dos factores, el factor A el cual es el tiempo de vulcanizado y el factor B el cual es la concentración de plastificante en la formulación de la propuesta de mejora, la variable respuesta para el diseño del experimento es la dureza la cual tiene como unidad de medida Shore A, para esto se lleva a cabo una metodología experimental, donde se realizan tres replicas para cada condición experimental, en los dos factores estudiados.

#### **3.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

En vista de las principales causas encontradas en los distintos analisis (pareto, 5 "M", indicador OEE y la encuesta) como la falta de mantenimientos preventivos, fomulacion en peso, resesistencia al cambio, falta de organización en planta y un mezclado sin orden específico que genera un producto no conforme por defectos en dureza, se plantea una alternativa de mejora mediante la reformulación de los empaques de caucho. Con esto además de abarcar el principal problema que genera devoluciones (dureza) se satisface la necesidad expresada por el cliente

en la encuesta (empaques con caucho nitrilo). Para tal fin se decidió emplear una herramienta estadística (DOE) que sirva para plantear mejores condiciones en el proceso en vista de la problemática ya mostrada. El DOE o diseño de experimentos permite analizar por medio de modelos estadísticos, la interacción de variables importantes en el proceso y con esto tener la información necesaria para mejorarlo. Para tener un punto de partida para el desarrollo del diseño de experimentos se plantea una hipótesis que buscamos confirmar o rechazar.

**3.1.1 Planteamiento de hipótesis.** Para este análisis se tienen los factores fijos (concentración de plastificante y tiempo de vulcanización), utilizando para su corroboración la hipótesis de que los mismos tienen efecto en las durezas requeridas por los clientes. Se hace un planteamiento de hipótesis con el propósito de tener claridad en lo establecido para el experimento y realizar una correcta lectura de los resultados. Las hipótesis planteadas son las siguientes:

*Hipótesis Nula:* no hay efecto de la concentración de plastificante (aceite DOP) y tiempo de vulcanizado con respecto a las durezas requeridas por el cliente (dentro del intervalo 35 a 45 shore A).

*Hipótesis Alternativa:* Si hay efecto de la concentración de plastificante (aceite DOP) y tiempo de vulcanizado con respecto a las durezas requeridas por el cliente (dentro del intervalo 35 a 45 shore A).

**3.1.2 Variables del diseño experimental.** Para llevar a cabo el diseño factorial se deben definir los factores y la variable de respuesta del experimento. Por consiguiente se estableció el tiempo y la cantidad de plastificante como los dos factores incidentes sobre la variable dependiente o de respuesta la dureza.

- **Cantidad de plastificante:** el aceite DOP es el encargado de ablandar la mezcla por consiguiente afecta directamente la dureza del material. Para este factor se manejan dos concentraciones distintas, con la diferencia que van a estar por encima de las actualmente empleadas en la mezcla con caucho natural, por ser más dura la nueva base elastomérica (caucho nitrilo 55 shore A - caucho natural 42 shore A). Para el experimento se emplean concentraciones de 1500 y 2000 gr puesto que según experimentación previamente realizada por la compañía, con 1000 gr de plastificante (el doble del proceso con caucho natural) las durezas oscilaban entre 60 y 70 shore A.
- **Tiempo de vulcanización:** es otro factor importante en la dureza del producto, si este no es el necesario la mezcla puede llegar a no cambiar sus propiedades mecánicas es decir a no vulcanizarse (tiempos muy cortos) o a quemar el empaque por una sobrevulcanización (más del tiempo necesario), afectando en cualquiera de los dos casos las propiedades del producto final y por ende la dureza. Actualmente para el proceso de vulcanización se emplea un tiempo de

10 minutos por lo que se eligió para abarcar un rango por encima y por abajo del usado genericamente por la empresa, un tiempo de 8 y 12 minutos.

**Tabla 9.** Factores y niveles del diseño de experimentos

Niveles		Factor B (cantidad de plastificante Aceite DOP)	
Factor A (Tiempo de vulcanización)	8 min	1500 gr	2000 gr
	12 min	1500 gr	2000 gr

**3.1.3 Diseño de experimentos factorial.** Para el presente proyecto se utiliza un diseño de experimentos factorial  $2^2$ , debido a que este permite con una menor cantidad de experimentos estimar los efectos de las dos variables independientes que se quieren estudiar (concentración plastificante y tiempo) sobre la dependiente y principal causa de devolución (dureza), además de permitir estimar los efectos entre 2 factores a distintos niveles, para así tener datos más precisos. Para dar certidumbre al experimento se realiza cada ensayo de concentración por triplicado para cada uno de los tiempos de vulcanización, esto con la intención de tener validez estadística a la hora de realizar los análisis correspondientes. Se tienen entonces un total de 12 datos de dureza para los dos factores a estudiar ( $2^2 \times 3 = 12$ ).

**3.1.4 Instrumentación y equipos.** En el pesado de las distintas materias primas para la formulación es empleada la balanza digital y la báscula. Para el mezclado de la materia prima se emplea el molino de dos rodillos y para el proceso de vulcanización se emplean las prensas hidráulicas. Con el fin de observar el comportamiento y la influencia del tiempo de vulcanización y la concentración de plastificante en la variable de respuesta, se realiza además una medición de la dureza utilizando un durómetro Baxlo din 53505.

### 3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la inclusión en la formulación del nitrilo cabe aclarar que su base deja de ser el caucho natural y pasa a ser el nitrilo. El nitrilo mezclado, hasta en mínimas cantidades, con caucho natural no permite la compactación en la mezcla y altera las propiedades del producto final por no tener afinidad con el nuevo plastificante ni con el NBR, por tal razón la base para la nueva formulación es únicamente el

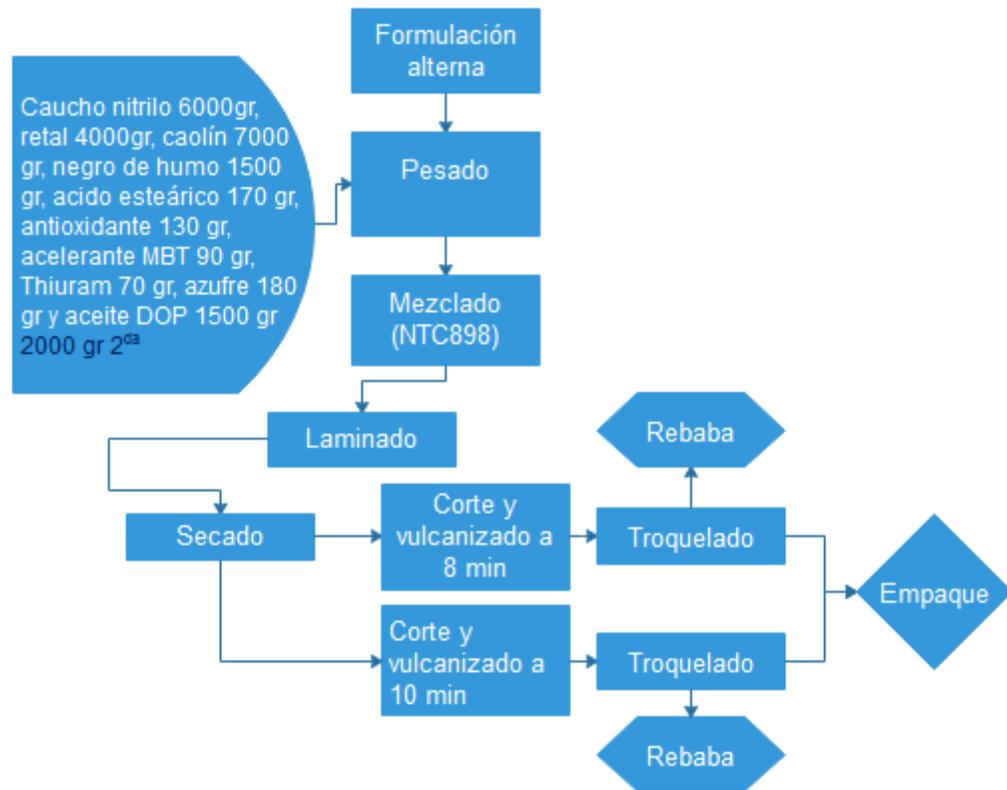
nitrilo. Además de esta consideración es importante mencionar que el aceite usado en las formulaciones de caucho natural no puede ser el mismo que para la alternativa, para tener afinidad con el caucho nitrilo, es empleado un aceite conocido como DOP (éster Di-Octil ftalato) como plastificante. Para la nueva formulación adicionalmente se hace la inclusión de un subproducto conocido como retal (de nitrilo), que sencillamente es la rebaba o el residuo de procesos anteriores. Dicho retal se formula como parte de la base elastomérica, que junto al NBR sin procesar hacen los 100 phr de los que se parte para formular el resto de los componentes. Como ultima consideración para la nueva formulación se hizo la inclusión de otro acelerante conocido como Thiuram puesto que en la mayoría de formulaciones con NBR se utiliza más de un acelerante para tener un mejor tiempo de procesamiento antes de la vulcanización y a su vez un mejor tiempo de cura.

**Tabla 10.** Consideraciones para la nueva formulación.

Materia Prima	PHR	Cantidad (gr)		
NBR (Cambio en lugar del caucho natural)	60	6000		
Retal (nuevo)	40	4000		
Caolín	70	7000		
Negro de humo	15	1500		
Acido esteárico	1,7	170		
Antioxidante	1,3	130		
M.B.T	0,9	90		
Thiuram (nuevo)	0,7	70		
Azufre	1,8	180		
Óxido de zinc	1,3	130		
DOP (cambio en lugar del aceite quemado)	15	20	1500	2000
	Total	20770		21270

La formulación presentada en la tabla 10 es la empleada para realizar el diseño experimental mediante los siguientes pasos:

Figura 7. Descripción del proceso



El anterior proceso se realiza dos veces hasta el paso del secado. Es decir, salen dos láminas con diferente formulación, variando únicamente la cantidad de plastificante (1500 y 2000 gr) para cada una. De cada lámina se cortan 6 muestras con las dimensiones de los moldes, de las cuales 3 se vulcanizan en un tiempo de 8 min y las otras 3 en tiempo de 12 min. Obteniendo de esta forma 12 muestras de las cuales es posible medir los datos de dureza necesarios para el experimento.

**3.2.2 Datos experimentales.** Se estudia el efecto del tiempo de vulcanización (Factor A) y de la cantidad de plastificante (Factor B) como factores que afectan la dureza en el producto final, realizando cada condición experimental por triplicado. En la tabla 11 se ilustran los datos obtenidos para el desarrollo experimental.

**Tabla 11.** Diseño factorial para evaluar dureza

Niveles		Factor B (cantidad de Aceite DOP)	
		1500g	2000g
Factor A (Tiempo de vulcanizado)	8 min	50	40
		45	35
		48	38
	12 min	55	43
		57	40
		60	45

**3.2.3 Resultado del diseño factorial.** Para hacer una correcta interpretación de los datos obtenidos se realiza un análisis de varianza (ANOVA) que busca establecer diferencias entre los grupos de datos obtenidos de la variable de respuesta (dureza) para así saber si las variables o factores seleccionados son significativos en el experimento y así aceptar o rechazar la hipótesis planteada. En la tabla 12 se ilustra el análisis de varianza (ANOVA) desarrollado con el software Statgraphics versión Centurión XVI.II, el cual evalúa la incidencia de los factores al comparar las medias de la variable respuesta en los diferentes niveles de los factores, para declarar las posibles significancias estadísticas entre los tratamientos.

**Tabla 12.** Análisis de varianza para dureza (ANOVA)

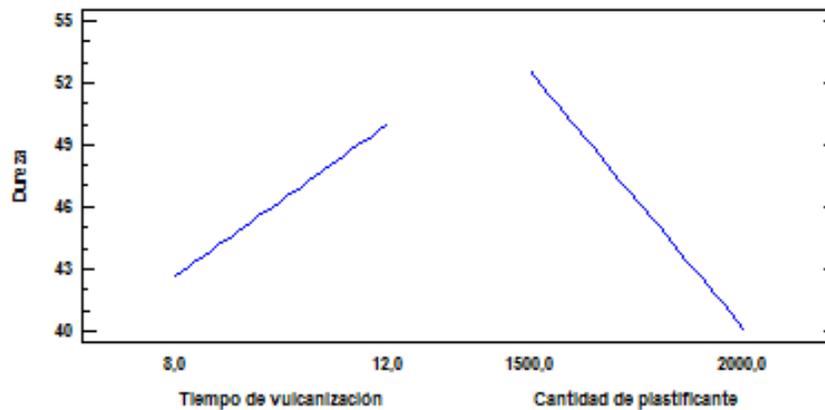
Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo de vulcanización	161,333	1	161,333	41,19	0,0007
B:Cantidad de plastificante	456,333	1	456,333	116,51	0,0000
AB	16,3333	1	16,3333	4,17	0,0872
Bloques	27,1667	2	13,5833	3,47	0,0998
Error total	23,5	6	3,91667		
Total (corr.)	684,667	11			

Fuente: Statgraphics versión Centurión XVI.II

Los grados de libertad me permiten estimar la varianza del error además de indicar el número máximo de comparaciones independientes entre los niveles de cada factor. Por otra parte los cuadrados medios determinan si los factores son significativos para un posterior rechazo o no de la hipótesis planteada. Con esta información se genera la tabla de análisis de varianza, que resume el ajuste de modelos y sus comparaciones. La tabla ANOVA descompone la variabilidad de

dureza en contribuciones debidas a varios factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que los valores-P para los factores A y B son menores que 0,05, estos tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la dureza con un 95.0% de nivel de confianza. Haciendo uso de las tablas de distribución F se deduce que si hay efecto de la concentración de plastificante (aceite DOP) y tiempo de vulcanizado con respecto a las durezas requeridas por el cliente (dentro del intervalo 35 a 45 shore A). Lo que corrobora la hipótesis alterna descrita en el planteamiento de hipótesis. La grafica 3 muestra el efecto de cada factor en la dureza. A mayor tiempo de vulcanización se tiene una mayor dureza, mientras que a mayor cantidad de plastificante se reduce la dureza.

**Gráfica 3.** Principales efectos en la dureza



Fuente: Statgraphics versión Centurión XVI.II

A mayor tiempo de vulcanización se tiene una mayor dureza, mientras q a mayor cantidad de plastificante se reduce la dureza.

### **3.3 MEZCLA RESULTANTE PARA LA FABRICACION DE EMPAQUES DE CAUCHO**

Los resultados del diseño de experimentos ademas de corroborar la hipótesis planteada, indican la cantidad de plastificante y tiempo requerido para que el producto este dentro del intervalo de 35 a 45 shore A exigido por los clientes. Aunque la condicion de 2000 gr de plastificante en los dos tiempos empleados, otorga resultados de dureza dentro de los intervalos requeridos, para economizar gastos energeticos y hacer el proceso de manera mas rapida se recomienda un tiempo de vulcanización de 8 minutos. En resumen la formulacion resultante queda de la siguiente manera:

**Tabla 13.** Formulación con caucho nitrilo

Materia Prima	PHR	Cantidad (gr)
NBR	60	6000
Retal	40	4000
Caolín	70	7000
Negro de humo	15	1500
Acido esteárico	1,7	170
Antioxidante	1,3	130
M.B.T	0,9	90
Thiuram	0,7	70
Azufre	1,8	180
Óxido de zinc	1,3	130
DOP	20	2000
<b>Total</b>		<b>21270</b>

La formulación de la tabla 13 además de ser distinta a la actual, tiene proceso también variante en partes específicas. Para la incorporación de las materias primas se siguió la norma NTC 898 que estipula el orden de mezclado de la siguiente manera (1) caucho o la base elastomérica, (2) 50 % de la carga reforzante, (3) 50% restante de la carga, (4) activadores (óxido de zinc y ácido esteárico), (5) Acelerantes y (6) el agente vulcanizante<sup>38</sup>, con lo que no se dan tantas pérdidas de materia prima y se aprovecha correctamente la función de cada una. Además en el secado de la mezcla, saliente del laminado se espera un tiempo de 15 y no de 5 como se lleva actualmente, esto debido a que a un mayor tiempo de secado se evita prevulcanizaciones, se homogeniza más la mezcla y se obtiene una pieza de mejor apariencia (más brillante).

Si bien es cierta que la preparación de las diferentes mezclas es hecha de la mejor forma por el operario responsable, el almacenamiento de los insumos necesita de un espacio adecuado para que los diferentes químicos no sufran roturas en sus envolturas ni se originen caídas de los envases que los contienen. Para evitar esto, todos los sacos de insumos deben de ser colocados en forma horizontal en estantes con separaciones horizontales. En un lugar cercano al molino y en general al proceso. Dicha materia prima debe estar rotulada y en un espacio de ser posible limpio, a fin de evitar confusiones cuando el molinero las recoja para realizar la mezcla correspondiente. Una mejor distribución en planta ayudaría a una más rápida labor por parte del operario y a su vez generaría mayor seguridad de las acciones a realizar.

Además de lo anterior es importante tener presente el orden de incorporación de cada materia prima, con la finalidad de estandarizar más el proceso y llegar a

<sup>38</sup> POSADA-CORREA, JUAN CARLOS, et al. Estudio comparativo de negro de humo y alúmina como cargas reforzantes en mezclas de caucho natural. *Revista UIS Ingenierías*, 2014, vol. 13, no 2.

tener inclusive una mezcla masterbatch (mezcla homogénea de caucho y una o varias materias en una proporción alta para su uso como materia prima en la mezcla final del material) y una final.

Para ver la mejora del producto mas significativamente, se realizan ensayos fisicos tanto a la formulacion con caucho natural como a la alternativa con caucho nitrilo. Para ello, se plantean 3 ensayos fisicos para medir la calidad del producto en distintos aspectos como tensión, elongación, tiempos de vulcanización, y flexión.

### 3.4 CARACTERIZACIÓN

Por la aplicación del producto final (empaquete para griferia) se tomo la decision de hacer un ensayo de tensión - elongación, reometria, y flexión, debido a que cada uno proporciona información necesaria para saber la calidad de la pieza y poderla comparar. Con el ensayo de de tensión - elongación se sabra cual material tiene mayor resistencia para la presion de agua en las griferias, la reometria estipula el tiempo de vulcanización adecuado para las mezclas de caucho y el mejor tiempo de formado de la pieza y finalmente el ensayo de flexión permite estimar si se cumple con los minimos ciclos recomendados para estos productos.

En este numeral se hara una descripcion de los ensayos realizados tanto a la formulacion actual como a la alterna. Evidenciando los resultados obtenidos para el proceso actual, para ser despues comparados en el siguiente capitulo de analisis de resultados con el proceso alterno.

**3.4.1 Ensayo de tensión y elongación.** Este análisis es realizado por el laboratorio calzado Atlas, la base del ensayo consiste en estirar una probeta desde sus extremos hasta producir su rotura, registrando continuamente la fuerza aplicada y el alargamiento producido. En la tabla 14 se pueden ver los resultados del ensayo realizado a la formulación con caucho natural.

**Tabla 14.** Ensayo tensión elongación caracterización inicial del caucho.

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Número de probeta	Tensión (Mpa)	Mediana tensión (Mpa)	Elongación hasta rotura %	Mediana elongación hasta rotura %
Caracterización inicial del caucho	1	0,34	0,39	430,3	441,3
	2	0,45		441,3	
	3	0,39		445,5	

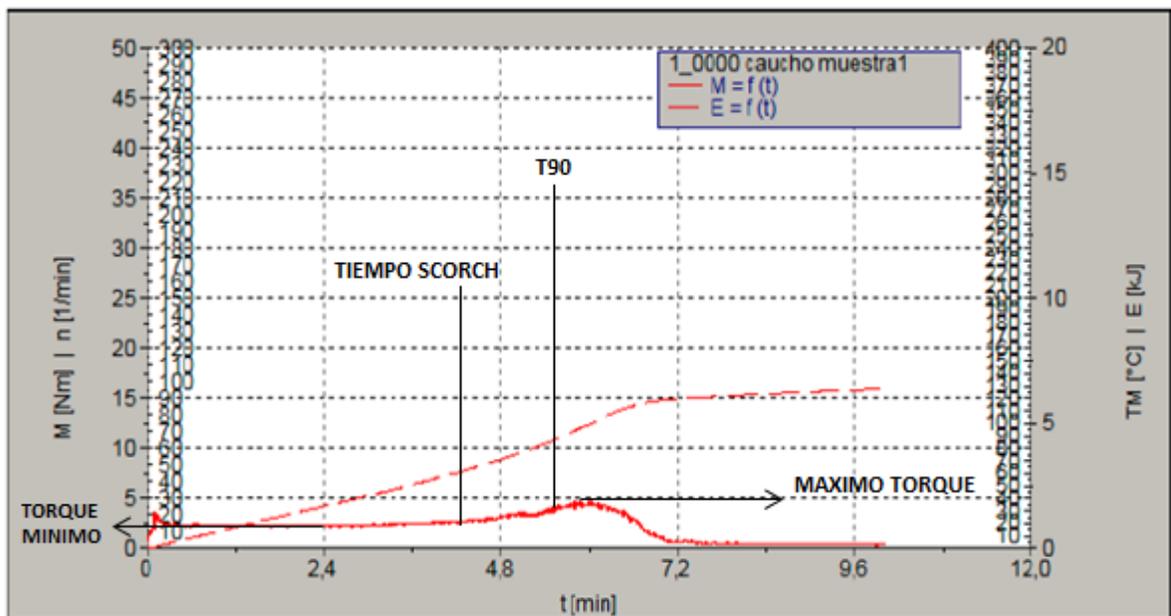
Fuente: Laboratorios calzado atlas, ANEXO A.

La caracterización inicial para el caucho natural se realizó mediante un acondicionamiento de la muestra con una humedad relativa de 50% HR a una temperatura de 23°C en un tiempo de 24 horas, en cuanto a las condiciones ambientales del ensayo la temperatura es de 21,5°C con una humedad del 47,7% HR utilizando mordazas neumáticas, según la norma NTC444:2006.

Por lo general este tipo de formulaciones que son en su mayoría para empaques de grifería deben soportar un mínimo de presiones de agua de 20 psi o 0,138 MPa, por lo que el producto actual alcanza a cumplir con lo requerido, con una resistencia mediana de tensión de 0,39 Mpa.

**3.4.2 Ensayo reometria de torque.** El ensayo es realizado por el centro ASTIN en Cali según la norma (ASTM D-5289) es empleado para determinar el tiempo de vulcanización en el que se alcanza la cura del material. Este tiempo es en el que se obtiene el 90 % del torque máximo o en otras palabras el 90 % vulcanización ( $t_{90}$ ).<sup>39</sup>También brinda información acerca del tiempo scorch el cual es el tiempo que tiene la mezcla para adquirir la forma del molde antes de que empiece la vulcanización (1 Nm por encima del torque mínimo)<sup>40</sup>.

**Imagen 9.** Reograma formulación actual.



Fuente: Centro Nacional ASTIN, ANEXO C.

<sup>39</sup> GARCIA, María CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS DE CAUCHO VIRGEN Y RECUPERADO DE TIPO NITRILLO. DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES COORDINACIÓN DE INGENIERÍA DE MATERIALES. Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, 2004. p. 86

<sup>40</sup> CASTAÑO CIRO, Nelson. Incorporación de residuos de caucho vulcanizado pos industrial obtenidos por trituración mecánica a mezclas puras de EPDM. MS tesis. Universidad EAFIT, 2012.p. 38

En línea punteada la energía en kJ y en la línea continua el torque, ambas con respecto al tiempo en minutos. En la imagen 9 se ve el comportamiento de la formulación con caucho natural en la cual se obtiene un tiempo de cura (t90) de 5,7 minutos y un tiempo scorch de 4,3 minutos. Demostrando de esta manera que el proceso actual se está llevando a un tiempo por encima del requerido, haciendo que el producto entre en su proceso de reversión y pierda sus propiedades.

**3.4.3 Ensayo de flexión.** Este análisis es realizado por el laboratorio calzado Atlas, El equipo de prueba de flexión Ross es un equipo de flexión para suelas de zapato que se utiliza para determina la resistencia a la flexión en productos de caucho, el método consiste en doblar continuamente la muestra y observar los daños y roturas de los productos de caucho. Tanto para ensayos de tracción como de flexión, calzado atlas dispone de tres máquinas universales de ensayo, una de ellas equipada con cámara de temperatura para ensayos desde -100 hasta 360 °C.

**Tabla 15.** Ensayo Flexión producto actual.

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Espesor promedio (mm)	Número total de flexiones (ciclos)	Longitud final del corte	Numero de ciclos para aumento del 100 %	Numero de ciclos para aumento del 500 %
Caracterización inicial del caucho	10	200000	Rotura total	150	2000

Fuente: Laboratorios calzado atlas, ANEXO A.

El ensayo de flexión se realizó en condiciones ambientales de 22,2°C, con una humedad del 47,9%HR, bajo unas condiciones de envejecimiento de 24 horas a 100°C, posteriormente se deja reposar a 23°C con una humedad de 50% HR durante 16 horas, la norma utilizada para este ensayo es la NTC 632:1996, los resultados de este ensayo se ilustran en la tabla 15. Según norma NTC 632: 1996 se realiza a un número total de 200.000 flexiones o menos, hasta llegar a la rotura total del material. Según requerimientos del laboratorio hubo que hacer aumentos en los cortes de las muestras suministradas en un 100 y 500% para poder realizar los ensayos. Teniendo para el proceso actual un total de 150 y 2000 ciclos soportados antes de la rotura, estando por debajo del mínimo del corte inicial hasta los 2/3 del ancho total de la probeta de ensayo, de acuerdo a la norma NTC (mínimo 200 ciclos para caucho vulcanizado).<sup>41</sup>

<sup>41</sup> LUIS, Moreno; DAMARIS, Calvo. "Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado".

**3.4.4 Resumen de las pruebas físicas realizadas al caucho natural.** A continuación se presenta un resumen de los resultados para la formulación con caucho natural, en la tabla 16.

**Tabla 16.** Resumen de resultados caracterización inicial de caucho natural industrias JOLFERB.

Parámetro	Resultado [Unidades]	Criterios de aceptación
Tensión elongación	0,39[Mpa] Mediana, Máxima 0,47[Mpa]	Resistir un mínimo de presión de agua de 20 psi o 0,138 Mpa
Flexión	150 y 2000 [Ciclos]	Mínimo 200 ciclos para caucho vulcanizado en el corte inicial

Fuente: Laboratorios calzado atlas, ANEXO A.

Estos resultados reflejan una tensión que cumple con los mínimos requeridos para este tipo de productos, estando por encima por 0,252 Mpa. Además se muestra por medio de la reometría, que el tiempo de vulcanización actual de 10 minutos, es más largo del necesario por 4,3 minutos, sobrevulcanizando la mezcla y por ende alterando las propiedades del producto final generando inconformidades en el mismo. Finalmente el ensayo de flexión dio como resultado unos ciclos soportados por el material, inferiores a los mínimos requeridos por 50 ciclos. Todo lo anterior que sirve como punto de partida para un posterior análisis comparativo con el proceso alterno.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El propósito de este capítulo es realizar los análisis del comportamiento de la nueva formulación para caucho nitrilo en industrias JOLFERB y el comportamiento del caucho natural del proceso tradicional.

### 4.1 ENSAYOS EXPERIMENTALES

Los ensayos experimentales de tensión - elongación, reometría y flexión permiten obtener una serie de resultados para cada formulación. Dichos resultados son analizados con el fin de comparar la formulación con caucho natural y la nueva hecha con caucho nitrilo para corroborar la mejora planteada en el producto.

**4.1.1 Análisis de tensión y elongación.** Para este análisis se comparan los resultados obtenidos en tensión y elongación para las dos formulaciones (con caucho NBR y natural). Para dicho análisis es importante mencionar que se proporcionaron tres muestras distintas del mismo caucho para cada caso. Se modificó en cada una de ellas el tiempo de vulcanización con el fin de analizar dicho tiempo y la tensión. A continuación se presenta en la tabla 17 Tiempo - tensión para los datos resultantes.

**Tabla 17.** Valores de tensión para caucho natural industrias JOLFERB

Tiempo (minutos)	Tensión (Mpa)
8	0,34
10	0,45
12	0,39

Fuente: Laboratorios calzado atlas, ANEXO A.

Estableciendo que inicialmente los tiempos para la determinación de estas propiedades están entre 8 y 12 minutos. Se hizo la prueba con los mismos tiempos para el caucho nitrilo, con la finalidad de comparar los resultados. A continuación se presentan los datos obtenidos de la alternativa propuesta, en la tabla 18.

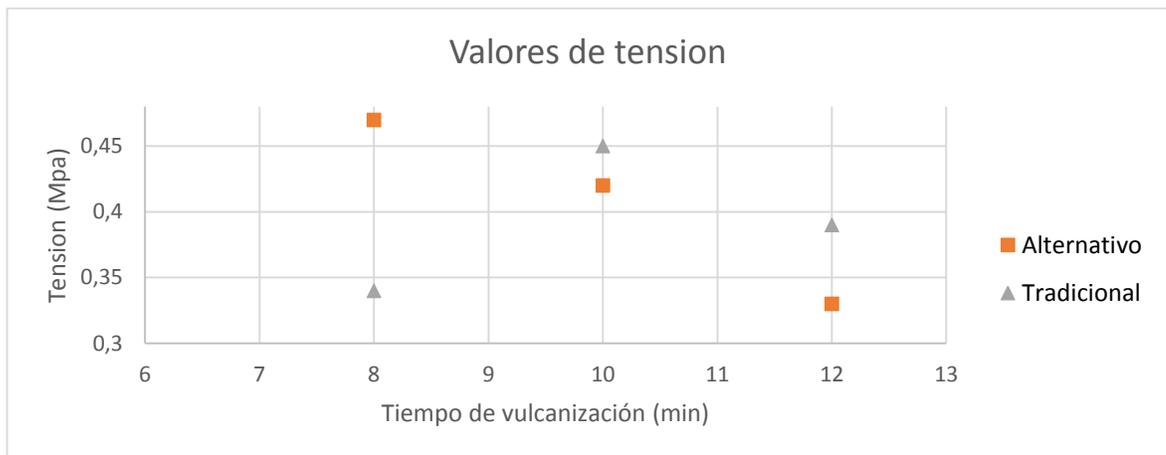
**Tabla 18.** Valores de tensión para la alternativa

Tiempo de vulcanización (minutos)	Tensión (Mpa)
8	0,47
10	0,42
12	0,33

Fuente: Laboratorios calzado atlas, ANEXO B.

Para hacer el análisis de las dos tablas de resultados se plantea la gráfica 4, que representa la tensión en los dos procesos evaluados con respecto al tiempo de vulcanizado para la fabricación de productos de grifería, en donde se puede ver como en el proceso alternativo al minuto 8 de vulcanización se logra obtener el valor más alto en la tensión de 0,47 Mpa. Para dicha grafica se tomaron los datos como puntos debido a que cada uno representa el punto obtenido en el máximo de tensión hasta la rotura total del material, para cada muestra a distinto tiempo de vulcanización.

**Gráfica 4.** Resistencia a la tensión en los procesos tradicionales y alternativos.

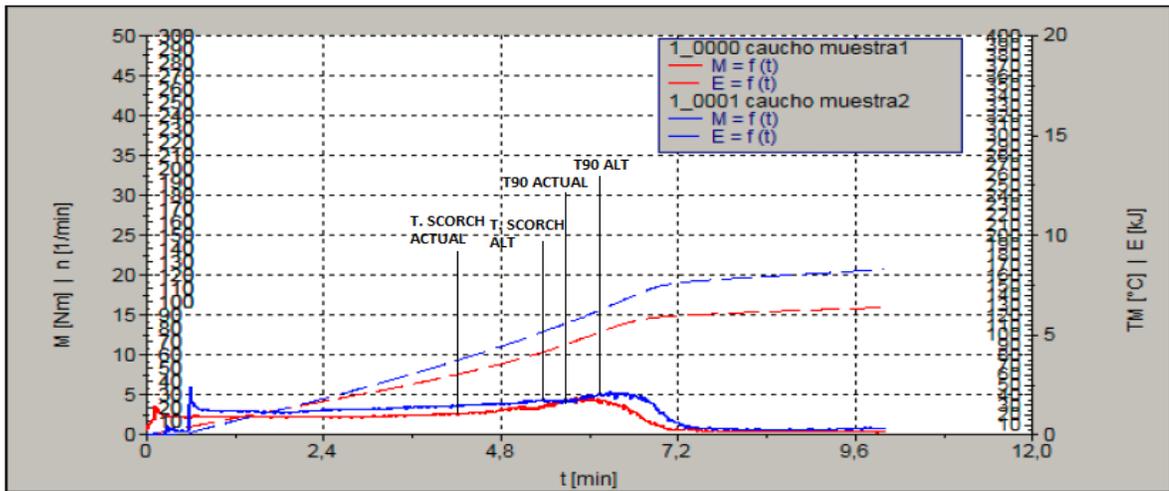


A partir de los resultados obtenidos se puede determinar que, además de que el proceso alternativo tiene una mayor resistencia a la tensión por 0,02 MPa más que el caucho natural, el proceso con la alternativa propuesta presenta una menor elongación hasta la rotura que el proceso actual (alterno = 400 % y tradicional o actual = 441,3). Lo que en otras palabras significa que la nueva formulación tiene una mayor rigidez por tener una menor deformación elástica al aplicarle una tensión. Como el producto final es usado en griferías, es muy importante que este sea lo suficientemente rígido y resistente a la tensión para evitar fugas y prematuras pérdidas de espesores en la pieza. El emplear el retal, que contiene partes de reforzantes como negro de humo y caolín en menor proporción que la formulación inicial (negro de humo 15 phr y caolín 70 phr en la formulación sin

vulcanizar), acrecienta las propiedades mecánicas del producto final, como se evidencio para este ensayo, en resistencia a la tensión y en rigidez.

**4.1.2 Análisis de reometria.** La reometria de torque, permite establecer el tiempo de vulcanización a una determinada condición de temperatura. La temperatura es una variable que influye en las propiedades de la mezcla vulcanizada, este ensayo mide la respuesta del torque generado en un proceso a temperatura constante. Esta prueba permite medir además el tiempo de inducción o el tiempo Scorch. Este tiempo depende de la temperatura a la cual se lleve el proceso de vulcanización, debido a que esta influye en la estabilidad de los acelerantes y en la energía de activación de dicho proceso. En la imagen 10 se presentan los resultados para las reometrias de las dos formulaciones.

**Imagen 10.** Reogramas de las dos formulaciones



Fuente: Centro Nacional ASTIN, ANEXO C.

En los reogramas se presenta en líneas de color rojo la formulación con caucho natural y en azul la de caucho nitrilo. La reometria de vulcanización permite conocer los tiempos y torques generados antes, durante y después de la vulcanización de la mezcla (Imagen 10). El comportamiento de cada formulación puede verse reflejado en un torque constante, en el aumento del torque o en la disminución del mismo después de haber alcanzado su máximo valor, a esto se le conoce como reversión. En dicho proceso de reversión la mezcla pierde parte de sus propiedades mecánicas, tal como se vio en el anterior ensayo de tensión para la formulación alterna, donde su resistencia a la tensión iba disminuyendo al aumentar el tiempo de vulcanización. Se tiene entonces:

**Tabla 19.** Resultados de la reometria

Formulación	Tiempo scorch (min)	Tiempo de curado T90 (min)	Máximo torque (Nm)	Max energía (KJ)
Caucho Natural	4,3	5,7	4	15
Caucho NBR	5,4	6,3	5	20

Fuente: Centro Nacional ASTIN, ANEXO C.

Según la tabla 19, la nueva formulación tiene un mejor tiempo scorch por un 1,1 minuto más que la actual. Es decir que hay un mayor tiempo para que la pieza adquiera su forma en el molde, evitando deformaciones, perdidas de materia prima y que se presente una prevulcanización. Tanto de la tabla 19 como de la imagen 10 se puede constatar que aunque el tiempo de cura es más corto para la formulación con caucho natural, la torsión mecánica máxima es más alta para la alternativa por 1 Nm. Lo anterior, se ve también reflejado en un mayor gasto energético producto del mayor torque requerido por los rotores del equipo para producir la masticación de la mezcla, lo que hace que la formulación alterna tenga mayor rigidez y por ende mayor resistencia al desgaste.

**4.1.3 Análisis de flexión.** Para calcular la incertidumbre en la medición de esta prueba, se utilizó un factor de cobertura  $K=2$  para un nivel de confianza aproximado del 95,45%. Lo anterior estimado según el documento: JCGM 100:2008 para la expresión de la incertidumbre de la medida. El ensayo según norma NTC 632: 1996 se realiza a un número total de 200.000 flexiones o menos, hasta llegar a la rotura total del material. Por lo general la resistencia a la flexión debe ser de un mínimo de 200 ciclos para la propagación del corte inicial hasta los 2/3 del ancho total de la probeta de ensayo para compuestos de caucho vulcanizado. Los resultados obtenidos para la alternativa se evidencian a continuación en la tabla 20.

**Tabla 20.** Ensayo de flexión formulación con caucho nitrilo

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Espesor promedio (mm)	Número total de flexiones (ciclos)	Longitud final del corte	Numero de ciclos para aumento del 100 %	Numero de ciclos para aumento del 500 %
Mezcla final	9,36	200000	Rotura total	500	2100

Fuente: Laboratorios calzado atlas. ANEXO B.

Según requerimientos del laboratorio, igual que en el ensayo para el proceso actual hubo que hacer aumentos en los cortes de las muestras suministradas en un 100 y 500% para poder hacer los ensayos debido a que las muestras suministradas no tenían un espesor acorde para las mordazas del aparato de flexión Ross. El resumen de los resultados de ambas formulaciones se ilustra en la tabla 21.

**Tabla 21.** Resultados ensayo de flexión

<b>Base de la formulación</b>	<b>N° de ciclos para aumento del 100 %</b>	<b>N° de ciclos para aumento del 500 %</b>
Caucho Natural (NR)	150	2000
Caucho Nitrilo (NBR)	500	2100

Fuente: Laboratorios calzado atlas. ANEXO B.

Para hacer una correcta interpretación de los datos resultantes es necesario traer a colación el concepto de tenacidad (capacidad de absorber o acumular la energía de deformación). Cuanto mayor sea el número de ciclos soportados, en este caso para cada aumento 100 y 500 %, mayor tenacidad está demostrando el material. Como se puede observar en los ensayos realizados el producto con la nueva propuesta con caucho nitrilo tiene una mejor tenacidad es decir, mayor capacidad de absorber energía de deformación antes de alcanzar la rotura. La inclusión en la formulación del retal de anteriores procesos aumenta la tenacidad del material, funcionando en parte como un reforzante más a parte del negro de humo, mejorando las propiedades mecánicas del caucho y haciéndolo de mejor calidad.

#### **4.2 ANÁLISIS EN LA ADICIÓN DE INSUMOS**

En este apartado se pretende analizar la influencia o incidencia de las nuevas materias primas en la formulación de la alternativa. Con el fin de argumentar la inclusión de cada una y las propiedades otorgadas a la mezcla o producto final. A continuación se analizó la inclusión del plastificante DOP, caucho nitrilo, acelerantes y retal que son las variantes en formulación del proceso alternativo.

**4.2.1 Análisis del plastificante DOP.** Por tener en la nueva formulación un polímero base que presenta en su estructura grupos polares (caucho NBR) requiere, para evitar problemas de compatibilidad, el uso de plastificantes tipo éster como el aceite DOP o Di-Octil ftalato, debido a que el aceite quemado actualmente empleado no es afín con el caucho NBR. Se presenta en la tabla 22 los plastificantes usados en el proceso actual y alterno.

**Tabla 22.** Comparación de plastificantes

<b>PLASTIFICANTE</b>	<b>FORMULACIÓN</b>	<b>PHR</b>	<b>Cantidad (gr)</b>
Aceite quemado	ACTUAL	16,67	500
Aceite DOP	ALTERNA	20	2000

Fuente: Creación propia

Las partes (PHR) del plastificante, empleadas en el proceso actual están fuera del intervalo recomendado (5 - 10 PHR) para este tipo de aceite, causando que la dureza del material se encuentre fuera de especificación (35 a 45 shore A), por

otra parte para el proceso alterno las partes están dentro de lo recomendado para que el plastificante cumpla con su función (aumentar flexibilidad y facilitar la transformación del elastómero<sup>42</sup>). Empleando para la nueva formulación un aceite tecnificado con propiedades específicas, que permiten obtener un producto de mejor apariencia y mayor calidad (mejorando entre otras propiedades la apariencia y dureza) por tener propiedades especiales, como ser incoloro, poco volátil, estable al calor, agua, temperaturas bajas y por tener temperaturas de proceso hasta de 180 °C.<sup>43</sup>

#### 4.2.2 Análisis de la inclusión del caucho nitrilo en los productos de grifería.

El Caucho nitrilo además de mejorar aspecto y satisfacer las peticiones de los clientes (productos con caucho nitrilo), posee ciertas propiedades que lo hace un caucho de mayor calidad respecto al caucho natural. Las bases elastoméricas empleadas para las dos formulaciones se ilustran en la tabla 23.

**Tabla 23.** Bases elastoméricas de las formulaciones

BASE ELASTOMERICA	FORMULACIÓN	Cantidad (gr)
Caucho Natural	ACTUAL	3000
Caucho Nitrilo	ALTERNA	6000

Fuente: Creación propia

El NBR tiene una dureza mayor que el caucho natural por 13 shore A (Natural 42 y Nitrilo 55) y una temperatura máxima de trabajo mayor por 30 °C (90 °C y 120 °C), por lo cual puede otorgarle al producto final resistencia a los aceites, muy buena resistencia a los solventes y la capacidad de soportar un mayor rango de temperaturas (-20 a 120 ° C aprox.) que los empaques con una base de caucho natural. Además de emplear materia prima que está actualmente en desuso en la empresa (15 sacos de 25 Kg). Para la formulación propuesta, se utilizó un caucho nitrilo de clase media con concentraciones entre 20 y 25 % de nitrilo, puesto que para productos de grifería no es necesaria una alta concentración de nitrilo, a diferencia de la industria automotriz que requiere contenidos más altos (35 y 40 %).

**4.2.2.1 Análisis de retal.** El retal economiza los costos de base elastomérica al ser parte de la misma con contenidos más bajos de caucho Nitrilo. La tabla 24 resume las partes y cantidades añadidas de las bases para cada formulación.

<sup>42</sup> BELTRÁN, M. I., et al. Tema 2. Tipos de plásticos, aditivación y mezclado. *Tecnología de los Polímeros*, 2011.p. 65

<sup>43</sup> WEISSERMEL, Klaus; ARPE, Hans-Jürgen. *Química orgánica industrial*. Reverté, 1981. p. 132

**Tabla 24.** Base elastomérica con y sin retal

<b>BASE ELASTOMERICA</b>	<b>FORMULACIÓN</b>	<b>PHR</b>	<b>Cantidad (gr)</b>
Caucho Natural	ACTUAL	100	3000
Caucho Nitrilo	ALTERNA	60	6000
Retal	ALTERNA	40	4000

Fuente: Creación propia

Como se puede observar en la tabla 24, para la formulación alterna un 40 % de la base elastomérica es el retal, economizando de esta manera los costos en caucho nitrilo y por ser el retal un subproducto de procesos anteriores que no genera ningún costo adicional.

**4.2.3 Análisis acelerantes.** El emplear un acelerante secundario como el Thiuram, garantiza un buen tiempo scorch y de cura. <sup>44</sup>El MBT (nombre) que se usa actualmente es un acelerante primario o de mediana velocidad de cura es decir de acción retardada, para caucho natural y caucho sintético. El Thiuram se utiliza como el acelerante rápido o secundario en la mezcla. No puede ser usado como el único acelerante o el principal porque hace que las mezclas se vulcanicen prematuramente a la temperatura de almacenamiento o en la preparación de la mezcla<sup>45</sup>. Las partes de acelerantes variaron de una formulación a otra como se observa en la tabla 25.

**Tabla 25.** Acelerantes de las formulaciones

<b>ACELERANTES</b>	<b>FORMULACIÓN</b>	<b>PHR</b>	<b>Cantidad (gr)</b>
M.B.T	ALTERNA	0,9	90
Thiuram	ALTERNA	0,7	70
M.B.T	ACTUAL	3	90

Fuente: Creación propia

El aumento en la partes de acelerante se debe a que cuando se combinan un acelerante secundario y primario, el acelerador secundario debe estar en una proporción entre 0,05 y 3 phr para activar y mejorar las propiedades del vulcanizado. <sup>46</sup> Los resultados demuestran que la inclusión de un acelerante más, el Thiuram, hizo más largo el tiempo scorch, aumentando el mismo por 1,1

<sup>44</sup> SUMINISTRO DE ESPECIALIDADES. Hoja técnica Acelerante Llantera TMTD Kemai. p. 1

<sup>45</sup> CARBONELL, Raide Alfonso; GARCÍA, Emilio; GONZÁLEZ, Kirenia. Influencia de los aditivos sobre las propiedades mecánicas de los elastómeros. *Tecnología Química XXVIII No*, 2008, vol. 2, p. 26

<sup>46</sup> CAL, Blanca Rosa, et al. Evaluación de elastómeros vulcanizados. *Afinidad*, 2012, vol. 69, no 558.p. 132

minutos respecto al proceso actual (de 5,7 a 6,3 minutos) dando un mejor tiempo para el formado del material en el molde de la prensa hidráulica.

**4.2.4 Análisis de reforzantes.** Los reforzantes empleados tanto en la formulación actual como la alterna son el caolín y negro de humo. Cabe aclarar que contiene partes de reforzantes negro de humo y caolín en menor proporción también que la formulación inicial (negro de humo 15 phr y caolín 70 phr en la formulación sin vulcanizar). En la tabla 26 se hace una comparación de las partes usadas de reforzante para cada formulación.

**Tabla 26.** Reforzantes de las formulaciones

REFORZANTES	FORMULACIÓN	PHR
Caolín	ACTUAL	70
Negro de humo	ACTUAL	15
Caolín	ALTERNA	233,3
Negro de humo	ALTERNA	50

Fuente: Creación propia

El exceso en las partes de reforzante de la formulación actual (recomendado 20 a 150 para el caolín y 5 a 50 para el negro de humo) causa pérdida de cristalinidad y por ende deterioro en la propiedades mecánicas del producto.<sup>47</sup> Los reforzantes agregados dentro de los phrs recomendados, dan al producto más rigidez, resistencia y tenacidad<sup>48</sup>, tal y como se demostró en los ensayos. Donde se presenta una menor elongación hasta la rotura para el proceso alterno (alterno = 400 % y tradicional o actual = 441,3) y para los aumentos de corte del 100 % y 500 %, un incremento de los ciclos soportados por el material de 350 y 100 ciclos respectivamente, lo que hace más tenaz y rígido al producto con la nueva formulación.

### 4.3 ANÁLISIS INDICADOR OEE

Para realizar este análisis es necesario hacer una proyección con la propuesta de mejora, para poder compararla con el indicador OEE calculado del proceso actual. Los resultados obtenidos para los dos procesos se muestran en la siguiente tabla.

---

<sup>47</sup> BILLMEYER, Fred W. Ciencia de los polímeros. 2004. p. 243

<sup>48</sup> Ibid

**Tabla 27.** Análisis indicador OEE

		<b>ACTUAL</b>		<b>ALTERNO</b>	
<b>FACTORES DE EVALUACIÓN</b>	<b>PLANIFICACIÓN (Turno 8 hrs)</b>	Tiempo disponible : 8 horas	100%	Tiempo disponible : 8 horas	100%
		Velocidad estándar: 108 piezas/hora		Vel. estándar: 108 piezas/hora	
		Objetivo: 864 piezas/turno		Objetivo: 864 piezas/turno	
	<b>DISPONIBILIDAD</b>	Tiempo disponible : 8 horas	87,50%	Tiempo disponible : 8 horas	87,50%
		Horas productivas de las disponibles: 7 horas		Horas productivas de las disponibles: 7 horas	
		Razones:		Razones:	
		- Cambio de turnos		- Camb. de turnos	
		- Tiempos de arranque		- T. de arranque	
		- Cambio de moldes y retrasos.		- Cambio de moldes y retrasos.	
	Capacidad productiva: 756 piezas/turno	Capacidad productiva: 756 piezas/turno			
<b>RENDIMIENTO</b>	Media de piezas fabricadas: 81 piezas/hora	75%	Media de piezas fabricadas: 81 p/h	75%	
	Razón: Reprocesos		Razón: Reproc.		
	Piezas reales fabricadas: 567 piezas/turno		P. reales fabricadas: 567 p/t		
<b>CALIDAD</b>	<b>Piezas defectuosas: 102</b>	82,01%	<b>Piezas defectuosas: 26</b>	95,41%	
	<b>Piezas fabricadas en buen estado: 465 piezas/turno</b>		<b>Piezas fabricadas en buen estado: 541 piezas/turno</b>		
<b>INDICADOR</b>	<b>OEE</b>	Disponibilidad 87,50% Rendimiento 75% Calidad 85,89%	53,82%	D 87,50% R 75% C 95,41%	62,62%
		Se han fabricado 487 piezas en buen estado durante el turno, frente a una capacidad productiva de 864 piezas por turno.		Se han fabricado 541 piezas en buen estado durante el turno, frente a una capacidad productiva de 864 piezas por turno.	

Para la proyección del proceso alterno se tuvieron en cuenta los mismos parámetros: turno, velocidad estándar y objetivo de producción del proceso actual, así como los factores de disponibilidad y rendimiento los cuales serían los mismos para la alternativa propuesta. Lo único que cambio en la valoración del indicador OEE fue la disminución de piezas defectuosas de 102 a 26, debido a que la nueva formulación es realizada en PHR, por la inclusión y cambio de algunas materias primas. Adicionalmente, se planteó un orden de mezclado según norma NTC 898, con el objeto de objetener la mejora en la calidad del producto, de manera que se eliminarían las devoluciones que se generan por defecos en dureza. Las 26 piezas estarían representadas unicamente por las devoluciones que se generan por producto en mal estado, manchado, terminación equivocada, pedido duplicado, baja rotación y error en cantidad enviada. Con lo que se mejoraría además el indicador OEE en un 8,8 %, minimizando retrabajos y perdidas ocasionadas por productos defectuosos.

Adicionalmente se requiere hacer una disminución de los tiempos de vulcanización según los ensayos de reometria, en 4,3 minutos para la formulación con caucho natural y en 1,7 minutos para la formulación con nitrilo, esto con el fin de evitar que las mezclas entren en su proceso de reversión y se sobrevulcanicen (perdiendo propiedades mecánicas y ocasionado piezas defectuosas) y para economizar tiempos y gastos energéticos en las prensas. Por lo tanto los tiempos de vulcanización quedarían: para la formulación con caucho natural en 5,7 minutos y para la formulación con caucho nitrilo 6,3 minutos.

## **5. RENTABILIDAD DEL PROYECTO**

Este capítulo tiene el propósito de plantear la rentabilidad del proyecto y así ver la posibilidad de implementar la propuesta. Para dicho objetivo el capítulo en primera instancia, hará una descripción de los costos y gastos actuales y los esperados o proyectados con la propuesta de mejora, además de hacer un análisis del costo unitario y de las ventas para cada producto (actual y alterno), para finalmente mostrar la rentabilidad para cada caso.

### **5.1 COSTOS Y GASTOS CON Y SIN LA PROPUESTA**

Para determinar la rentabilidad de un proceso es importante conocer la utilidad. Para dicho fin es necesario tener los costos de inversión junto con el total de las ventas. La siguiente tabla 28 relaciona la información suministrada por la empresa de un promedio mensual de 5 meses del año 2016 (junio a octubre) para los costos y gastos operativos (OPEX: *Operational Expenditure – Gastos Operacionales*). Así como también se presentan los costos y gastos con la alternativa:

**Tabla 28.** Promedio de costos y gastos mensuales industrias JOLFERB

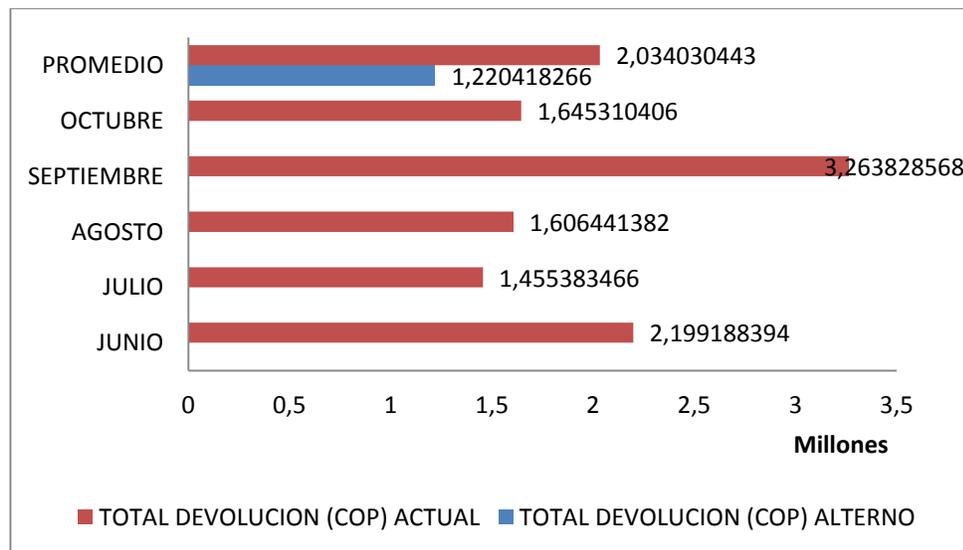
CONCEPTO		PROMEDIO MENSUAL (COP)		
		ALTERNATIVA	ACTUAL	
<b>GASTOS</b>	Mantenimiento de prensa hidráulica	1520000	1520000	
	Devoluciones	<b>1220418</b>	<b>2034030</b>	
	Mantenimiento de Molino	500000	500000	
	<b>TOTAL</b>	<b>3240418</b>	<b>4054030</b>	
<b>COSTOS VARIABLES</b>	MATERIA PRIMA			
	FORMULACION ALTERNA	FORMULACIÓN ACTUAL		
	Caucho Crudo NBR (1/2 tonelada)	Caucho Crudo Natural (1/2 tonelada)	<b>2550000</b>	<b>2250000</b>
	Químicos de mezcla 6 clases (negro de humo 200 Kg, óxido de zinc 20 Kg, antioxidante 20 Kg, MBT 20 Kg, ácido esteárico 25 Kg, azufre 25 Kg)	Químicos de mezcla 6 clases (negro de humo 200 Kg, óxido de zinc 20 Kg, antioxidante 20 Kg, MBT 20 Kg, ácido esteárico 25 Kg, azufre 25 Kg)	1900000	1900000
	Tambor de Caolín (200kg)	Tambor de Caolín (200kg)	100000	100000
	Thiuram (20 kg)	-	<b>186000</b>	<b>0</b>
	Aceite DOP (250kg)	Aceite quemado de motor (caneca con 70 Kg)	<b>1200000</b>	<b>100000</b>
	<b>TOTAL</b>		<b>5936000</b>	<b>4350000</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>	SERVICIOS PÚBLICOS:			
	Agua		119400	119400
	Luz		928000	928000
	Teléfono		104000	104000
	Internet		26000	26000
	Monitoreo y vigilancia		47000	47000
	Gas		8000	8000
	Nómina (4 empleados)		2966900	2966900
	Arriendo		700000	700000
	Impuestos iva		<b>1457048</b>	<b>870000</b>
	Impuestos ica		171000	171000
	Retefuente		<b>318729</b>	<b>190313,5</b>
	<b>TOTAL</b>		<b>6846077</b>	<b>6130613</b>
<b>TOTAL COSTOS Y GASTOS</b>		<b>16022496</b>	<b>14534643</b>	

Fuente: industrias JOLFERB

Como se puede ver en la tabla 28 las devoluciones bajarían en un 40%, puesto que con la propuesta de mejora se pretende no tener devoluciones por defectos en dureza. El valor de 1220418,266 COP estaría representado únicamente por las devoluciones que se generan por producto en mal estado, manchado, terminación equivocada, pedido duplicado, baja rotación y error en cantidad enviada. En cuanto al aumento del impuesto de iva y retefuente se daría por el incremento de piezas fabricadas (de 864 a 1447), como se mostrara en el análisis de costo unitario.

**5.1.1 Devoluciones e inconformidades.** En la actualidad la empresa maneja un indicador para sus costos representados por las devoluciones de clientes. Devoluciones que vienen dadas principalmente por defectos en dureza como se analizó en anteriores capítulos. Se maneja un monto promedio de 2034030,443 COP por devoluciones, como se indica en la siguiente grafica.

**Gráfica 5.** Devoluciones mensuales con el proceso actual y alterno



El promedio mostrado en la gráfica 5 tiene un 40 % de devoluciones por defectos en dureza según lo mostrado en el analisis pareto. Inconveniente que busca mejorar la nueva formulación, reduciendo el monto de devoluciones de 2034030,443 COP a 1220418,266 COP.

**5.1.2 Costo unitario.** Para este apartado se hace una descripción del costo unitario de cada materia prima incidente en el proceso, para determinar el costo de fabricación de cada pieza. Así como también se presentan los costos de venta para los productos que comercializa la compañía. La información suministrada por industrias JOLFERB se organizó en la siguiente tabla:

**Tabla 29.** Costo unitario de producción actual y alterna

MATERIAS PRIMAS		(Kg)	(Kg)	COSTO UNITARIO (COP/Kg)	COSTO UNITARIO (COP/Kg)	COSTO X CADA MEZCLA (COP)	COSTO X CADA MEZCLA (COP)
FORMULACION		ACT.	ALT.	ACT.	ALT.	ACT.	ALT.
ACTUAL	ALTERNA						
CAUCHO NATURAL	CAUCHO NITRILO	3	6	5700	6250	17100	37500
NEGRO DE HUMO	NEGRO DE HUMO	1,5	1,5	4700	4700	7050	7050
ACEITE QUEMADO	ACEITE DOP	0,5	2	1600	5134	800	10268
OXIDO DE ZINC	OXIDO DE ZINC	0,13	0,13	13000	13000	1690	1690
ANTIOXI.	ANTIOXI.	0,13	0,13	8000	8000	1040	1040
MBT	MBT	0,09	0,09	11470	11470	1032	1032
-	THIURAM	-	0,07	-	9300	-	651
ACIDO ESTEARICO	ACIDO ESTEARICO	0,17	0,17	12800	12800	2176	2176
CAOLIN	CAOLIN	7	7	160	160	1120	1120
-	RIPIO / RETAL	-	4	-	0	-	0
AZUFRE	AZUFRE	0,18	0,18	1000	1000	180	180
TOTALES COSTOS MATERIA PRIMA		12,7	21,3	58430	71814	32188	62707
MEZCLAS ELABORADAS DIARIAS		5	5			160941	313536
PIEZAS POR DIA		864	1447	COSTO POR PIEZA		186,28	216,68

Fuente: industrias JOLFERB

La cantidad de mezcla al ser mayor que el proceso actual genera una mayor cantidad de piezas por día. Por otro lado las ventas de todos los productos tendrían un incremento promedio del 40 % en su precio de venta, según lo sugerido por la analista de producción. Lo anterior soportado bajo una investigación hecha por la compañía en el año 2016, que sirvió como fundamento para sugerir los precios del nuevo producto en base a los que maneja la competencia directa (Cauchos la roca) y a los aumentos en el costo de fabricación. Los productos y las ventas con el incremento mencionado quedarían de la siguiente manera:

**Tabla 30.** Costo de venta productos con formulación actual y alterna

PRODUCTO	VALOR UNITARIO		CANT.	VALOR TOTAL		DESCRIPCIÓN
	ACTUAL	ALTERNA		ACTUAL	ALTERNA	
EMPAQUE PARA GALAPAGO Y UNION GIGAUTH	767	1073,8	100	76.700	107.380	GALAPAGO
EMPAQUE PARA GALAPAGO Y UNION GIGAUTH	922	1290,8	100	92.200	129.080	GALAPAGO DE 11/2
EMPAQUE PARA GALAPAGO Y UNION GIGAUTH	1.364	1909,6	100	136.400	190.960	2 PULGADAS
EMPAQUE PARA GALAPAGO Y UNION GIGAUTH	1.540	2156	100	154.000	215.600	3 PULGADAS
EMPAQUE PARA GALAPAGO Y UNION GIGAUTH	1.663	2328,2	100	166.300	232.820	4 PULGADAS
EMPAQUE PARA GALAPAGO Y UNION GIGAUTH	3.842	5378,8	100	384.200	537.880	6 PULGADAS
EMPAQUE PARA GALAPAGO Y UNION GIGAUTH	4.626	6476,4	100	462.600	647.640	8 PULGADAS
EMPAQUE PARA GALAPAGO Y UNION GIGAUTH	7.695	10773	100	769.500	1.077.300	10 PULGADAS
EMPAQUE PARA LLAVE	50	70	100	5.000	7.000	GATO
EMPAQUE PARA LLAVE	50	70	100	5.000	7.000	3/8 DE PULGADA
EMPAQUE PARA LLAVE	50	70	100	5.000	7.000	1/2 PULGADA
EMPAQUE PARA LLAVE	60	84	100	6.000	8.400	3/4 DE PULGADA
EMPAQUE PARA RACOR DE MANGUERA	60	84	100	6.000	8.400	CONICO
EMPAQUE PARA RACOR DE MANGUERA	65	91	100	6.500	9.100	GRUESO PLANO
EMPAQUE ARANDELA GRIVAL O TUERCA PLANA	60	84	100	6.000	8.400	1/2 PULGADA

**Tabla 30. (Continuación)**

PRODUCTO	VALOR UNITARIO		CANT.	VALOR TOTAL		DESCRIPCIÓN
	ACTUAL	ALTERNA		ACTUAL	ALTERNA	
EMPAQUE COPA DE LLAVE GRANDE	65	91	100	6.500	9.100	5/8 PULGADA
EMPAQUE COPA DE LLAVE PEQUEÑA	60	84	100	6.000	8.400	1/2 PULGADA
EMPAQUE CONECTOR O MEDIDOR DE AGUA	60	84	100	6.000	8.400	5/8 DE PULGADA
EMPAQUE TROMPO PARA EMBOLO	60	84	100	6.000	8.400	SANITARIO
ZAPATAS O BOTA DE MUEBLES	50	70	100	5.000	7.000	1/8 DE PULGADA
ZAPATAS O BOTA DE MUEBLES	50	70	100	5.000	7.000	1/4 DE PULGADA
ZAPATAS O BOTA DE MUEBLES	114	159,6	100	11.400	15.960	3/8 DE PULGADA
ZAPATAS O BOTA DE MUEBLES	114	159,6	100	11.400	15.960	1/2 PULGADA
ZAPATAS O BOTA DE MUEBLES	153	214,2	100	15.300	21.420	5/8 DE PULGADA

Fuente: industrias JOLFERB

El monto promedio en ventas de 12792467,8 COP es el resultado de las ventas de los distintos productos evidenciados en la tabla 30, en la que se muestra su valor unitario y en cantidades de 100 unidades (bolsas de 100 unidades). Al tener un aumento del 40% en cada uno de los productos si se vendiera la misma cantidad pero con la nueva formulación, habría un incremento del 40% del monto de ventas para cada mes quedando de la siguiente manera:

**Tabla 31.** Promedio de ventas

MES	TOTAL PRODUCCIÓN (COP) PROPUESTA	TOTAL PRODUCCIÓN (COP) ACTUAL
JUNIO	19005331,8	13575237
JULIO	14764759,8	10546257
AGOSTO	12357241,4	8826601
SEPTIEMBRE	27198571,4	19427551
OCTUBRE	16221370,2	11586693
PROMEDIO	17909454,9	12792467,8

Fuente: industrias JOLFERB

Según la tabla 31 se tiene un promedio de ventas mensual de 12792467,8 COP para los meses de junio a octubre de 2016, conforme a la información suministrada por la compañía industrias Jolferb para el proceso actual. Con el incremento de los precio en los distintos productos de las compañía se ve un incremento de las ventas de 12792467,8 COP a 17909454,92, por ser un producto que la mayoría de los principales clientes (70% según encuesta) requiere y por ser de una mejor calidad.

**5.1.3 Nuevos mercados.** La inclusión de nuevos mercados es un aspecto que se quiere y se pretende con esta nueva propuesta. Con esta nueva formulación con caucho nitrilo se permite la participación de industrias JOLFERB en nuevos mercados estando a la vanguardia de lo que se requiere por parte de los clientes. Además de disminuir en un 40 % las devoluciones, mejorando la imagen, confiabilidad y posicionamiento de la empresa.

## **5.2 RENTABILIDAD**

Para calcular la rentabilidad es necesario determinar la utilidad, que es la diferencia entre las ventas y los costos. Finalmente se representa la rentabilidad sobre los costos calculada de una forma relativa (%).

**Tabla 32.** Rentabilidad mensual con y sin la alternativa

PROCESO		
<b>ALTERNO</b>	<b>COSTOS Y GASTOS</b>	16'022.496,3 COP
	<b>VENTAS</b>	17'909.454,9 COP
	<b>UTILIDAD</b>	1'886.958,6 COP
	<b>RENTABILIDAD</b>	<b>11,78%</b>
<b>ACTUAL</b>	<b>COSTOS Y GASTOS</b>	14'534.642,9 COP
	<b>VENTAS</b>	12'792.467,8 COP
	<b>UTILIDAD</b>	<b>-1'742.175,1 COP</b>
	<b>RENTABILIDAD</b>	<b>-11,98%</b>

Fuente: industrias JOLFERB

En la rentabilidad mostrada en la tabla 32 se puede observar que para el proceso actual es negativa, generando pérdidas por un monto de 1'742.175,14 COP mensuales, lo que quiere decir que los costos y gastos generados en la fabricación de los empaques con caucho natural son más altos que las ventas de los productos. Pérdidas que la compañía sopesa con el proceso de inyección de plásticos que se lleva en paralelo con los cauchos debido a que este deja un amplio margen de utilidad. Teniendo un valor de 2'034.030,443 COP en devoluciones que incrementa considerablemente los costos y por ende disminuye la rentabilidad para el proceso actual con caucho natural.

A pesar que la nueva formulación genera mayores costos por su materia prima, la disminución en las devoluciones y el aumento del precio de venta del producto, hacen de la propuesta una opción más rentable que la actual, evitando pérdidas mensuales y generando una utilidad de 1'886.958,62 COP mensuales. Mejorando la rentabilidad de un proceso a otro según los porcentajes calculados (actual - 11,98 y alterno 11,78), en un 23,76%. Cabe aclarar que en la actualidad hay una gran cantidad de NBR y de ripio sin usar en la compañía, lo que podría ser empleado para disminuir los costos de materia prima. Además en este análisis tampoco se tuvo en cuenta la posible disminución energética que se daría al evitar reprocesos por defectos en dureza.

## 6. CONCLUSIONES

- Según el diagnóstico realizado se encontraron falencias como la falta de mantenimientos preventivos, formulación en peso, resistencia al cambio, falta de organización en planta y un mezclado sin orden específico que genera un producto no conforme por defectos en dureza y un total de pérdidas mensuales por ese motivo de 726.738, 42 COP (40 % de las devoluciones). Además se evidenció que la eficiencia está por debajo del 60 %, respecto al objetivo propuesto por la compañía de 864 piezas por turno.
- La alternativa que se establece es una nueva formulación con 2000 gr de plastificante a 8 min de vulcanización para que el producto esté dentro del intervalo de 35 a 45 shore A exigido por los clientes, junto a ciertas especificaciones en el proceso como orden de mezclado y tiempo de secado, que generan mejores propiedades en tensión-elongación (alternativo = 0,47 Mpa, 400 % y actual = 441,3, 0,45 Mpa producto más rígido), mejor tiempo scorch (actual: 5,7 minutos, alternativo: 6,3 minutos mejor tiempo para el formado de la pieza) y una mayor tenacidad (mínimo de ciclos soportados proceso actual: 150 proceso alternativo: 500) .
- A pesar de ser más elevado el costo de la materia prima para el proceso alternativo (Alternativa: 5´936.000 COP y actual: 4´350.000 COP), por la inclusión de NBR, del aceite DOP y de tener dos materias primas más en el proceso, el aumento en el precio de venta (Alternativa: 17´909.454,9 COP, actual: 12´792.467,8 COP) y la disminución en las devoluciones hacen de la propuesta una opción rentable en un 23,76% más que con el caucho natural.

## 7. RECOMENDACIONES

De acuerdo a la descripción del proceso productivo y según las mejoras planteadas para el mismo, se han establecido algunos métodos de control, seguimiento y organización con la finalidad de retroalimentar y optimizar las gestiones y los productos que se fabrican en industrias JOLFERB.

### **Métodos de control y seguimiento.**

A continuación se presentan las medidas sugeridas para obtener los mejores resultados de la propuesta:

- Utilizar las cantidades de caucho nitrilo recomendadas, tomando en cuenta las ventas de los productos y sus respectivas proyecciones. De esa forma se van aclarando las necesidades de espacio de almacenamiento y el uso que se les puede dar en caso exista un sobrante del mismo.
- Registrar diariamente datos de los pesos de cada insumo según fórmula, de modo que se puedan realizar análisis de exactitud, reproducibilidad y repetibilidad.
- Controlar el tiempo que necesita el caucho para ser procesado en el molino. De este modo se mostrará la capacidad productiva y evaluará el trabajo del operario en turno. Además de controlar el tiempo de vulcanización según los datos obtenidos en la reometría.

## BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, Adriana M. y PRADA, Ludy A. Diseño Básico De Una Planta Procesadora De Latex De Caucho Natural Para Diferentes Capacidades De Producción. Universidad Industrial de Santander UIS, 2005. p. 5.

BELTRAN, M. y MARCILLA, A. Tema 2: Tipos De Plásticos, Aditivación y Mezclado. En Tecnología De Polímeros. 75 p.

Caucho Sbr. [Consultado el Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/caucho/sbr>

CRIOLO, Andrés X. Caracterización De Caucho Reciclado Proveniente De Scrap y De Neumáticos Fuera De Uso Para Su Potencial Aplicación Como Materia Prima. Cuenca.: Universidad Politécnica Salesiana, 2014. p. 9.

ELLES, Alexander E. y GARCÍA, César A. Mezcla Sinérgica Entre Polihidroxibutirato (PHB) y Caucho Natural (Latex) Para Obtener Un Copolímero. Cartagena de Indias.: Universidad de Cartagena, 2012. p. 31.

FINAGRO. Normatividad Vigente., p. 8

GONZÁLEZ, Concepción. Componentes Involucrados En La Formulación De Caucho. [Consultado el Agosto 2016]. Disponible en:

<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6744-Componentes-involucrados-en-la-formulacion-de-caucho.html>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de investigación NTC 1486 Sexta actualización Bogotá. El instituto, 2008, 26 páginas.

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas, contenido forma y estructura NTC 5613 Bogotá, El instituto, p.1-2

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá, El instituto, 1998, p.2

KOPRIMO. Especificaciones Caolín (Crown Clay).

Látex. [Consultado el Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.ecured.cu/L%C3%A1tex>

LUNA,Patricio M. Estudio De La Aplicacion Potencial De Compuestos Obtenidos Con Residuos De Caucho Reciclado Provenientes De Continental Tire Andina Como Materiales Estructurales. Cuenca.: Universidad Politécnica Salesiana, 2013. p. 7.

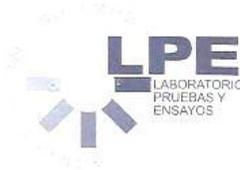
MIRAVETO,A. y CUARTERO,J. Materiales Compuestos. Vol. II ed. España: AEMAC, 2003. 961 p.

MUJICA,Ibrazhir A. Desarrollo De Una Formulacion De Caucho Nitrilo Con Aplicacion Final En Suelas De Calzado Industrial. Sartenejas.: Universidad Simon Bolivar, 2007. p. 17.

TORMENTO,Luis A. Reduced Levels of Zinc Oxide in the Vulcanization of Rubber Compounds. [Consultado el Septiembre2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/ltormento/reduced-levels-of-zinc-oxide-in-the-vulcanization-of-rubber-compounds>

## **ANEXOS**

## ANEXO A. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL CAUCHO



**LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS LPE.  
INFORME FINAL**

LIF- No. 4023

<b>Producto:</b>	Caracterización inicial del caucho
<b>Norma del Producto:</b>	No especificado
<b>Destino:</b>	No especificado
<b>Método de Muestreo Empleado:</b>	El cliente ha realizado el muestreo
<b>Condiciones Ambientales Generales:</b>	Cueros: 50% ± 5 % H.R. 23° ±2 °C
<b>Incertidumbre de la medición:</b>	La incertidumbre expandida de la medición se ha calculado utilizando un factor de cobertura K=2 para un nivel de confianza aproximado del 95.45% y fue estimada de acuerdo con el documento: JCGM 100:2008 Guía para la expresión de la incertidumbre de la medida.

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION ROSS				
<b>Condiciones Ambientales de ensayo:</b>	Temperatura:	22,2 °C	Humedad:	47,9 % HR
<b>Condiciones de Envejecimiento:</b>	24 horas a 100 ± 1 °C	<b>Condiciones de Reposo:</b>	23 °C ± 2°C 50 % HR ± 5 % HR x 16 horas	
<b>Material</b>	Caracterización inicial del caucho	<b>Norma Utilizada:</b>	NTC 632:1996 <sup>(1)</sup>	

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Espesor Promedio (mm)	Número total de flexiones (ciclos)	Longitud final del corte (mm)	Número de ciclos para cada aumento del 100%	Número de ciclos para un aumento del 500%*
Caracterización inicial del caucho	10,00	200000	Rotura total	150	2000

CAUCHO VULCANIZADO Y ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN					
<b>Fecha de ensayo:</b>	2016/11/01	<b>Fecha de vulcanización:</b>	2016/10/31		
<b>Acondicionamiento:</b>	Temperatura:	23,0 °C	Humedad:	50,0 % HR	Tiempo: 24 Horas
<b>Condiciones Ambientales de Ensayo:</b>	Temperatura:	21,5 °C	Humedad:	47,7 % HR	
<b>Descripción de la mordaza:</b>	Neumáticas	Tipo de troquel		C	
<b>Material</b>	Caracterización inicial del caucho	<b>Norma Utilizada:</b>	NTC 444:2006		

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	NÚMERO DE PROBETA	TENSIÓN (Mpa)	MEDIANA TENSIÓN (Mpa)	ELONGACIÓN HASTA ROTURA %	MEDIANA ELONGACIÓN HASTA ROTURA %
Caracterización inicial del caucho	1	0,34	0,39	430,3	441,3
	2	0,45		441,3	
	3	0,39		445,5	

Continúa siguiente página

Página 2 de 3  
LFR-016 Versión 13



**LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS LPE.**  
**INFORME FINAL**

LIF- No. 4023

**Observaciones:**

Nota (1) Longitud inicial del corte: 2,5 mm. Ancho total de la probeta de ensayo: 25,4 mm. Aumento del 100% en el corte: A 5 mm. Aumento del 500% en el corte: A 10,25 m .Los 2/3 del ancho total de la probeta de ensayo, corresponden a un aumento del corte de 16,9 mm.

El espesor de la probeta no está acorde con los requisitos de las normas para los ensayos realizados NTC 632:1996 y NTC 444:2006

**FIRMAS AUTORIZADAS:**

Revisa y Autoriza:	Paola Ballén	
Cargo:	Jefe de Laboratorio	
Digitador:	Sindy Cruz	

FINAL DE ESTE INFORME

Página 3 de 3  
LFR-016 Versión 13

## ANEXO B. RESULTADOS DEL CAUCHO NITRILO



### LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS LPE. INFORME FINAL



<b>Nombre del cliente</b>	<b>INDUSTRIAS JOLFERB</b>		<b>INFORME: LIF- No. 4167</b>
<b>Dirección del cliente</b>	<b>Ciudad</b>	<b>N.I.T. del cliente</b>	<b>No. de la solicitud</b>
Carrera 67 No. 4 B – 77	Bogotá	20057662-4	2017 – 174
<b>Nombre del solicitante</b>	<b>Teléfono</b>	<b>Fax</b>	<b>E-mail</b>
Diego Fernando Penagos	314 285 69 44	413 76 34	diepenqo@hotmail.com
<b>Fecha de recepción de la Muestra</b>	<b>Fecha de realización de ensayos</b>		<b>Fecha Emisión del Informe</b>
2017/04/28	2017/05/06 a 2017/05/08		2017/05/08

DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA / ENSAYO	NORMA TÉCNICA APLICADA	ENSAYO ACREDITADO	
		SI	NO
MEDICIÓN DEL DETERIORO DEL CAUCHO Y CRECIMIENTO DEL CORTE POR MEDIO DEL APARATO DE FLEXIÓN DE ROSS.	NTC 632:1996 ( Nota 1)	X	
CAUCHO VULCANIZADO Y ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN	NTC 444:2006	X	

**Observaciones:**

- 01 Los informes de resultados son considerados como propiedad del solicitante y/o cliente, pero no podrá reproducirse parcial ni totalmente sin la autorización escrita del laboratorio.
- 02 El informe de la prueba / ensayo, solo corresponde a los objetos o materiales que han sido sometidos al proceso de prueba o ensayo y únicamente es válido para la orden o solicitud del solicitante y/o cliente, producto y destino descritos en el cuadro de identificación.
- 03 Las muestras son libremente elegidas por el solicitante y/o cliente y enviadas bajo sus normas y criterios.
- 04 Los resultados contenidos en el presente informe, se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las pruebas / ensayos.
- 05 El Laboratorio de Pruebas y Ensayos LPE, no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de este informe por parte del solicitante y/o cliente.
- 06 CONFIDENCIALIDAD Y SEGURIDAD: El Laboratorio de Pruebas y Ensayos LPE., se compromete a observar discreción profesional relacionada con la información obtenida con ocasión de las pruebas que se desarrollen, de acuerdo con los requerimientos del cliente.
- 07 El laboratorio de pruebas y ensayos LPE conservará la información técnica derivada en ocasión de las pruebas desarrolladas por un periodo de 5 años contados a partir de la fecha de emisión del informe.
- 08 MUESTRA TESTIGO: El Laboratorio tendrá en custodia durante dos (2) meses contados a partir de la fecha de emisión del informe, una "Muestra Testigo" para verificaciones de soporte en casos necesarios, al cabo de este tiempo, cesa toda responsabilidad del Laboratorio en tal sentido, por ausencia de elementos de comprobación evidente. Para reclamar la muestra testigo sírvase dirigir una comunicación escrita a la Calle 17 No. 68B - 68, Bogotá, o al correo: [lpelaboratorio@gmail.com](mailto:lpelaboratorio@gmail.com).
- 09 Para efectos de reposición, adición o reclamaciones, esta información solo es válida cuando esté impresa y debidamente validada por firmas autorizadas, en el documento oficial / original del Laboratorio.
- 10 Si tiene alguna queja acerca del servicio prestado favor dirigir comunicación escrita citando el número de este informe a la Jefatura de Calidad del Laboratorio de Pruebas y Ensayos LPE, o al correo: [lpelaboratorio@gmail.com](mailto:lpelaboratorio@gmail.com)

Continúa siguiente página



**LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS LPE.**  
**INFORME FINAL**



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005  
09 LAB-034

LIF- No. 4167

Producto:	Probeta de caucho
Norma del Producto:	No especificado
Destino:	No especificado
Método de Muestreo Empleado:	El cliente ha realizado el muestreo
Condiciones Ambientales Generales:	Cueros: 50% ± 5 % H.R. 23° ±2 °C
Incertidumbre de la medición:	La incertidumbre expandida de la medición se ha calculado utilizando un factor de cobertura K=2 para un nivel de confianza aproximado del 95.45% y fue estimada de acuerdo con el documento: JCGM 100:2008 Guía para la expresión de la incertidumbre de la medida.

**DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION ROSS**

Condiciones Ambientales de ensayo:	Temperatura:	21,7 °C	Humedad:	53,1 % HR
Condiciones de Envejecimiento:	24 horas a 100 ± 1 °C	Condiciones de Reposo:	23 °C ± 2°C 50 % HR ± 5 % HR x 24 horas	
Material	Probeta de caucho	Norma Utilizada:	NTC 632:1996 <sup>(1)</sup>	

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Espesor Promedio (mm)	Número total de flexiones (ciclos)	Longitud final del corte (mm)	Número de ciclos para cada aumento del 100%	Número de ciclos para un aumento del 500%
Mezcla final	9,36	200000	Rotura total	500	2100

**CAUCHO VULCANIZADO Y ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN**

Fecha de ensayo:	2017/05/06	Fecha de vulcanización:	Desconocida		
Acondicionamiento:	Temperatura: 23,0 °C	Humedad:	50,0 % HR	Tiempo:	24 Horas
Condiciones Ambientales de Ensayo:	Temperatura: 21,5 °C	Humedad:	51,7 % HR		
Descripción de la mordaza:	Neumáticas	Tipo de troquel	C		
Material	Probeta de caucho	Norma Utilizada:	NTC 444:2006		

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	NÚMERO DE PROBETA	TENSIÓN (Mpa)	MEDIANA TENSIÓN (Mpa)	ELONGACIÓN HASTA ROTURA %	MEDIANA ELONGACIÓN HASTA ROTURA %
Mezcla final	1	0,33	0,42	430	400
	2	0,42		400	
	3	0,47		380	

Continúa siguiente página

Página 2 de 3  
LIF-016 Versión 13



**LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS LPE.  
INFORME FINAL**



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005  
09-LAB-034

LIF- No. 4167

FIRMAS AUTORIZADAS:

Revisa y Autoriza:	Jimena Cano	Firma: 
Cargo:	Jefe de Laboratorio	
Digitador:	Liceth Piraneque	

FINAL DE ESTE INFORME

## ANEXO C. COSTOS ENSAYOS



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005  
09-LAB-034

RESOLUCION DIAN  
3 2 0 0 0 1 3 0 0 6 0 7  
FECHA: 2015/08/12  
HAB. DEL 9300 AL 10000  
AUT. DEL 10001 AL 15000

### CALZADO ATLAS LTDA EN REORGANIZACION

NIT.: 860.053.373-1

REGIMEN COMUN 31546-08

ACTIVIDAD ECONOMICA: 1521y 7490

FACTURA DE VENTA No. 9897

Señores:	INDUSTRIAS JOLFERB	Fecha:	08/11/2016	C.Costo:	0001
Nit.:	20057662 - 4	Remisión:	0	Vendedor:	0012
Dirección:	CR 67 4B 77	Teléfono:	4137634	Vencimiento:	08/12/2016
Ciudad:	BOGOTA	Forma Pago:	0801 - 13050501 CLIENTES NA - F 00000009897	Valor a Pagar	553,840

Código	Bod	Descripción	Referencia	Un	%IVA	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
400105000010	0001	ENSAYOS LABORATORIO CAUCHOS	OTROS INGRESOS	UN	18	2.00	247,250.00	494,500.00
		ORDEN DE ENSAYOS CARTA Y MUESTRAS DE 2016/10/14 SOLICITUD DE PRESTACION DE SERVICIOS 2016-517 Y 2016-565 CORRESPONDE A EL INFORME 4023 Y 4037 CAUCHO						
							<b>TOTAL BRUTO</b>	<b>494,500.00</b>
							DESCUENTO IVA	79,120.00
							RETEFUENTE 4%	19,780.00
							RETEFUENTE 3.5%	
							<b>NETO A PAGAR</b>	<b>553,840.00</b>

CTA.AHO.BANCOLOMBIA 21735435873 FAVOR NOTIFICAR LA CANCELACION CON SUS RESPECTIVAS RETENCIONES.

SON: QUINIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL OCHOCIENTOS CUARENTA PESOS M/CTE.

Elaboró	Aceptada y Recibida (Firma y sello) C.C.
---------	--

Esta factura se asimila en sus efectos legales a la Letra de Cambio (según el artículo 774 del Código de Comercio), con esta el comprador declara haber recibido real y materialmente las mercancías y/o servicios descritos en este título valor.

Calzado Atlas Ltda en Reorganización NIT. 860.053.373-1 Régimen Común CIU 7490  
Calle 17 No. 68B-68 - Teléfono: 57(1) 405 0891 Ext. 104 - Fax: 57(1) 405 4111 Ext. 106 Bogotá D.C., Colombia  
E-mail: lpelaboratorio@gmail.com www.laboratorioatlas.com

**ANEXO D.**  
**ENSAYOS DE REOMETRIA DE TORQUE**

**ANEXO E.**  
**ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL CLIENTE**

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

**AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL  
LUMIERES**

Yo **Diego Fernando Penagos Rubiano** en calidad de titular de la obra **PROPUESTA DE MEJORA PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE EMPAQUES DE CAUCHO NATURAL EN INDUSTRIAS JOLFERB**, elaborada en el año 2016, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifiesto conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su(s) autor(es).

De igual forma como autor, autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá DC, a los 18 días del mes de Agosto del año 2017.

EL AUTOR:

Autor 1

Nombres: Diego Fernando	Apellidos: Penagos Rubiano
Documento de identificación No: 1010201787	Firma
	