

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**EVALUACIÓN MECÁNICA Y REOLOGICA DE MEZCLAS DE CAUCHO NATURAL CON  
RESIDUOS GRUESOS POSINDUSTRIALES DE CUERO**

Johan Stiven Jiménez Ruiz

Daniel Esteban Giraldo Botero

Ingeniería Electromecánica

Director(es)

William Urrego Yepes

Diego Hernán Giraldo Vásquez

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Febrero 2017**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

En los procesos industriales de tratamiento del cuero se generan varios residuos, dentro de ellos, se encuentran los residuos sólidos posindustriales. Estos residuos son altamente contaminantes con el medio ambiente y no se da un aprovechamiento de estos residuos. Es por esto que la motivación de este proyecto de investigación es caracterizar las modificaciones del caucho al agregarle residuos del cuero como cargas reforzantes durante el proceso de vulcanización.

Es por esto que se hace una profundización en materia de los elastómeros, (caucho sintético y natural), como se obtiene y los procedimientos de vulcanización, incluyendo sus propiedades físicas y químicas, tales como dureza, densidad, desgarre, flexión.

En las pruebas experimentales se hace un análisis detallado de las mezclas de Caucho con los residuos del cuero en las 5 formulaciones 20,40, 60, 80 y 100 phr, extrayendo el comportamiento de cada una de las propiedades físicas de las mezclas vulcanizadas. Donde se puede apreciar las gráficas del comportamiento de cada una de las propiedades y su respectivo análisis.

Basados en los resultados obtenidos en el presente proyecto, se puede concluir que la rigidez y la dureza del caucho aumentan al utilizar residuos de cuero como material reforzante, el material resultante de la mezcla presenta una pequeña capacidad de deformación, por lo cual se obtiene un nuevo material que puede ser utilizado en aplicaciones donde se requiera de un material duro y rígido, pero a su vez que presente en cierto grado la flexibilidad que aporta el caucho.

Por último, se recomienda para continuación de la investigación y trabajos futuros, elaborar productos finales que puedan ser utilizados como pruebas y caracterizar las propiedades del material en una aplicación real.

**Palabras clave:** Caucho Natural, residuos de cuero, densidad, compression set, vulcanización, reometría de torque.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Expresamos un agradecimiento muy especial al profesor William Urrego por el gran apoyo y empeño puesto en este trabajo de investigación, de igual manera extendemos el agradecimiento a todo el equipo de investigación y laboratorios de la Universidad de Antioquia y el SENA, sin su ayuda constante este trabajo no se hubiese podido llevar a cabo. También un agradecimiento más que especial para nuestras familias por la ayuda, paciencia y apoyo durante toda nuestra carrera universitaria, ellos fueron el motor para continuar adelante con nuestra formación académica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

- PHR (Parts per Hundred Rubber)
- $TS_0$  (tiempo de inicio de la reacción de vulcanización)
- $M_H$  (Torque Maximo)
- $M_L$  (Torque mínimo)
- ASTM (American Society for Testing and Materials)
- F.R (Flory –Rehner)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	MARCO TEÓRICO.....	9
2.1	Polímeros.....	9
2.2	Elastómeros.....	9
2.2.1	Caucho natural.....	10
2.2.2	Caucho Sintético.....	11
2.3	Análisis granulométrico.....	12
2.4	Formulación de los compuestos del Caucho.....	13
2.5	Mezclado del caucho con el resto de ingredientes en reómetro de torque (tipo Banbury) y en molino abierto .....	14
2.6	Proceso de vulcanización .....	16
2.6.1	El proceso de vulcanización en el caucho .....	16
2.6.2	Reometría de vulcanización .....	16
2.7	Caracterización mecánica de los compuestos del Caucho.....	17
2.7.1	Propiedades mecánicas de compuestos de caucho natural .....	17
2.7.1.1	Pruebas normalizadas .....	17
2.8	Actualidad del uso del cuero en mezclas con polímeros .....	21
3.	METODOLOGÍA.....	23
3.1	Búsqueda bibliográfica:.....	23
3.2	Metodología experimental:.....	23
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1	Selección del material y formulación de las mezclas .....	25
4.2	Densidad.....	29
4.3	Reometría de Torque .....	29
4.4	Reometría de Vulcanización.....	30
4.5	Desgarre .....	31
4.6	Tensión .....	32

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.6.1	Modulo al 100%.....	33
4.6.2	Modulo al 300%.....	34
4.7	Compresión .....	35
4.8	Dureza shore A .....	36
4.9	Desgaste .....	37
4.10	Flexión .....	38
4.11	Compression-set.....	41
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	42
	REFERENCIAS .....	43
	APÉNDICE.....	45

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1. INTRODUCCIÓN

---

En la industria del cuero se generan grandes cantidades de residuos, donde es poco el aprovechamiento de estos, lo que conlleva a que se desechen en su totalidad en los rellenos sanitarios sin realizar ningún aprovechamiento de ellos. Estos residuos representan una gran problemática para la industria del cuero (curtimbres). El alto nivel de contaminación proviene del poco aprovechamiento que se le puede dar al cuero salado, de un 100% de materia prima (cuero salado) sólo se puede aprovechar el 26%, el resto del material se convierte en desechos “inutilizables”.

(Leather Trade, 2011)

Los cauchos son conocidos por su capacidad de deformarse en gran proporción y retornar a su forma original sin sufrir daños, también posee características de resistencia eléctrica y su capacidad de repeler al agua, debido a esto tiene grandes aplicaciones en las industrias a nivel mundial.

El caucho puede ser dos orígenes, natural o sintético, el natural proviene de la savia lechosa de algunas plantas, en cuanto al sintético, se extrae de hidrocarburos insaturados. Durante la fabricación de los productos de caucho se lleva a cabo un proceso conocido como el proceso de vulcanización, donde a la materia prima del caucho se le adicionan diferentes aditivos para generar una reacción química y de esta manera obtener un material con mayor resistencia y elasticidad, además se adicionan materiales reforzantes para mejorar sus propiedades físicas, algunos de los materiales de aporte son el negro de humo y la sílice. Basado en lo anterior, los residuos del cuero se emplearon como un material reforzante en la elaboración de compuestos de caucho natural, caracterizando su comportamiento con este nuevo material reforzante, analizando su comportamiento físico.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Es por esto que la motivación de este proyecto de investigación, fue mitigar el efecto contaminante de uno de los residuos que se produce en las industrias relacionadas con el cuero, dando un mejor uso a este residuo evaluando su efecto en las mezclas con caucho natural.

Evidentemente los resultados de este proceso de investigación benefician al medio ambiente dando un mejor uso a la disposición de esta clase de residuos postindustriales.

A partir de los resultados obtenidos se lograron conocer algunas características fisicoquímicas de las mezclas caucho – cuero, algunas de estas propiedades son: densidad, desgarré, tensión, flexión, compresión, dureza, desgaste y tensión. Se aprecia durante este trabajo una ampliación de lo que son los cauchos y de donde se extraen, seguido por la información de las formulaciones definidas para su elaboración junto con el proceso de vulcanización de las probetas de ensayo.

A partir de esta información preliminar se planteó la metodología seguida en el presente proyecto y posterior a esto se inició la formulación de los compuestos para efectuar las vulcanizaciones y los posteriores ensayos caracterizando las propiedades físicas del material resultante.

El presente trabajo tuvo como objetivos los siguientes

- Realizar el análisis granulométrico de los residuos posindustriales del cuero para elección de un tamaño de partículas adecuado para la mezcla con cauchos.
- Elaborar las mezclas de los cauchos homogenizados con los residuos posindustriales.
- Evaluar tiempos y características de vulcanización de los compuestos de caucho mezclado con los residuos de cuero posindustrial.
- Caracterizar la resistencia al desgarré, a la tensión, compresión set y dureza de los materiales mezclados.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 Polímeros.

Los polímeros son materiales que están formado por la unión química de miles de pequeñas unidades moleculares conocidas como monómeros. La palabra polímeros viene del griego: poli (muchos) y mero (partes). Los polímeros difieren de otros materiales en distintas formas, generalmente exhiben baja densidad, baja conductividad térmica y un bajo módulo elástico; es así como, las densidades de algunos materiales poliméricos ofrecen una ventaja en aplicaciones donde se requieren elementos de bajo peso con propiedades mecánicas adecuadas

(M, Carol; Barry, F; A-M.B; Mead, Joy L;, 2004)

Los polímeros se pueden clasificar de acuerdo a diferentes variables como: origen, mecanismo de polimerización, composición química, aplicaciones y su comportamiento al variar la temperatura, dentro de esta última categoría se clasifican como: termoplásticos, plásticos termoestables, elastómeros termoplásticos y cauchos sintéticos. (Uran, 2010)

En este caso se profundizará en la familia de elastómeros, los cuales tienen grandes aplicaciones por su capacidad intrínseca de deformarse y recuperar su forma elásticamente.

### 2.2 Elastómeros

Los Elastómeros son polímeros reticulados, lo que les brinda una gran capacidad de deformarse y recuperar su forma natural nuevamente sin sufrir afectaciones a sus propiedades ni en su forma.

Este tipo de polímeros tienen gran campo de aplicación tales como suelas de calzado, minería, llantas para todo tipo de vehículos, industrialmente para la elaboración de juntas entre otras diversas aplicaciones. Dado que físicamente tienen propiedades únicas tales como la elasticidad, durabilidad, flexibilidad, alta resistencia a la fricción, son aislantes eléctricos entre muchas más aplicaciones.

En el mercado de las llantas es de gran uso este polímero, ya que tiene la capacidad de deformarse de tal modo que tenga una superficie de contacto con el asfalto constante para

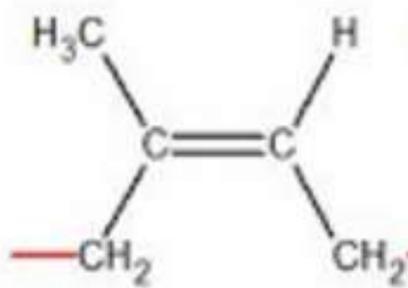
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

generar una correcta tracción y una gran durabilidad en condiciones normales de uso. (Uran, 2010)

Dentro de los elastómeros existen dos clases, el caucho natural y el caucho sintético.

### 2.2.1 Caucho natural.

El caucho natural es un polímero lineal con la estructura química conocida como CIS que se aprecia en la figura 1.



*Figura 1 Molécula CIS 1-4 Poliisopreno (Ojeda, 2011)*

Este material se puede extraer de la savia del árbol de caucho (origen natural), las propiedades de este, dependen de varios factores, tales como, el clima de crianza del árbol, la planta que produce la savia, el cuidado brindado a la planta, la ubicación geográfica de la planta entre otros factores.

El proceso de extracción de la savia del árbol, consiste en realizar un corte transversal y diagonal a la corteza de una profundidad considerable, generando así la interrupción de los canales de la savia, lo que genera la extracción de la savia, un líquido acuoso de color blanco llamado Látex. Al final del corte se instala una taza correctamente, asegurando la recolección del látex durante todo el tiempo de sangrado de la corteza. Esto se puede apreciar más claramente en la Figura 2 Árbol de caucho en proceso de sangrado

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

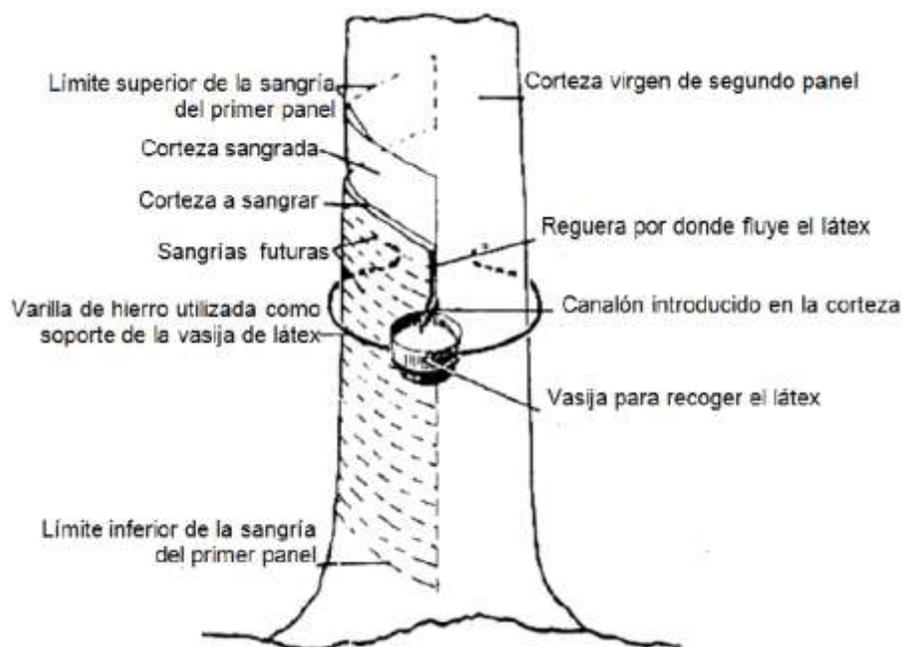


Figura 2 Árbol de caucho en proceso de sangrado (Uran, 2010)

### 2.2.2 Caucho Sintético

El caucho sintético es obtenido de un proceso a partir de hidrocarburos insaturados dado a este proceso se consideran como una rama de la industria petroquímica, este caucho se vuelve una revolución en la industria por su gran número de propiedades. Estos cauchos sintéticos se vuelven la competencia del caucho natural debido razones económicas y técnicas. La búsqueda de este caucho sintético comenzó en Alemania en la primera guerra mundial obteniendo a mediados de 1930 unos elastómeros de tipo S, N y butadieno. (macromoléculas, curso automovil)

Tabla 1 Tipos de cauchos sintéticos (macromoléculas, curso automovil).

TIPO	NATURALEZA	APLICACIONES
S	Copolímeros del butadieno y del estireno	Neumáticos, pavimentos, mecánica, usos generales
N	Copolímeros del butadieno y del acrilonitrilo	Productos resistentes al calor o a los agentes químicos
Butilo	Copolímeros del isobutileno y del isopreno	Cámaras de aire, usos que exigen impermeabilidad de los gases

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Neopreno	Polímeros del cloropreno	Productos resistentes al envejecimiento, a los hidrocarburos y a los ataques químicos
Vinilo	Cloruro de polivinilo y alcohol	Usos generales
Poliuretano	Poliésteres o poliéteres unidos por diisocianatos	Espuma, calzado, juntas, almohadillas, colchones
Siliconas	Clorosilanos ( obtenidos por reacción de la sílice con un cloruro de arilo o alquilo )	Juntas para altas presiones y altas temperaturas, equipos mecánicos
Polisulfuros	Productos resultantes de la reacción de dicloruros orgánicos y Polisulfuros alcalinos	Rodillos de imprenta
Acrílicos	Derivados de la clorhidrina etilénica o del acetileno	Productos resistentes al envejecimiento o a los hidrocarburos a alta temperatura
Diversos	Poliisopreno, polibutadieno	Neumáticos, aisladores y otras aplicaciones que exigen condiciones estrictas

### 2.3 Análisis granulométrico.

Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica. (Espinace, 1979)

Granulometría por tamizado es un proceso mecánico mediante el cual se separa las partículas de un suelo o material particulado en sus diferentes tamaños. Se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de material retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción del material entre dos tamaños. El análisis granulométrico por tamizado se realiza a las partículas con diámetros superiores a 0,075 mm. (Malla 200), este ensayo se hace con una serie de mallas normalizadas (a cada número de malla le corresponde una abertura estándar), dispuestos en orden decreciente

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2.4 Formulación de los compuestos del Caucho

Para el proceso de polimerización (vulcanización) del caucho y de acuerdo a la aplicación final del componente, se pueden utilizar diferentes aditivos durante el proceso de mezclado del caucho natural, como lo son:

**Agente vulcanizante:** Aditivo que permite la reticulación del caucho durante el proceso de la vulcanización. (Uran, 2010)

**Acelerante de la vulcanización:** disminuye el tiempo durante el proceso de vulcanización, etapa que sin este aditivo es muy lenta. (Uran, 2010)

**Activadores y retardantes:** para que los acelerantes ejerzan por completo su efecto, es una práctica habitual emplearlos con activadores, los cuales dan inicio al proceso de vulcanización y permiten, con una dosificación correcta, obtener la velocidad de vulcanización deseada, conjuntamente con una seguridad suficiente de ausencia de pre vulcanización. (Uran, 2010)

**Anti degradantes:** Se utilizan para proteger en mayor o menor medida la degradación del caucho, debida al oxígeno, temperatura, fatiga mecánica, la luz, (envejecimiento), generalmente se emplean los antioxidantes. (Uran, 2010)

**Cargas reforzantes y de relleno:** las cargas reforzantes se utilizan por razones preferentemente técnicas, aunque con frecuencia, dan lugar a un menor costo de material. Por el contrario, las cargas de relleno se utilizan para disminuir los costos del material. (Uran, 2010)

**Agentes de acoplamiento:** son compuestos que tienen en su molécula dos tipos de grupos reactivos, por una parte uno es capaz de reaccionar con los grupos superficiales de las cargas, y por otra, grupos reactivos capaces de reaccionar con el caucho durante la vulcanización, creando así una reacción caucho-carga. (Uran, 2010)

**Peptizantes:** son productos, que añadidos inicialmente en pequeñas cantidades, aceleran el proceso de plastificación y aumentan su eficacia, lográndose el mismo grado de degradación molecular en menos tiempo y con un menor consumo de energía. (Uran, 2010)

**Plastificantes:** plastifican la mezcla cruda, es decir, aumentan su plasticidad, o reducen su viscosidad, con lo que facilitan su preparación y elaboración posterior, reduciendo la energía necesaria para ello. (Uran, 2010)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Facticios:** el uso de este aditivo es indicado para mezclas que han de ser extruidas o calandradas. En ambos casos, reducen los hinchamientos a la salida de la boquilla de extrusión o de los rodillos de la calandra y mejoran el aspecto superficial de los artículos acabados. (Uran, 2010)

**Esponjantes:** Se utilizan para la fabricación de gomas celulares (esponjas de celdillas abiertas o cerradas y gomas micro porosas, no espuma que se fabrica a partir de látex), son productos que al incorporarse a la mezcla durante el proceso de vulcanización, liberan gran cantidad de gases. Adhesivos goma – metal y goma. (Uran, 2010)

**Tejido:** son aditivos utilizados para facilitar las condiciones y el proceso de adhesión entre el caucho y otro material. (Uran, 2010)

**Colorantes y pigmentos:** Se utilizan principalmente para la fabricación de gomas con color diferente al negro. Los aditivos de acuerdo a la cantidad y al tipo empleado pueden modificar las propiedades químicas y mecánicas de una mezcla de caucho. (Uran, 2010)

## **2.5 Mezclado del caucho con el resto de ingredientes en reómetro de torque (tipo Banbury) y en molino abierto**

Una de las operaciones más importante en esta etapa es el mezclado, el cual ayuda a incorporar el caucho con los demás componentes de la formulación que se desea obtener en el producto final. Este proceso de mezclado se divide en 5 etapas:

- **Subdivisión:** esta etapa consta de realizar una división de materiales de mayor tamaño a menor tamaño.
- **Incorporación:** realizar la adición de algunos componentes de la formula dentro del caucho.
- **Dispersión:** reducción de los materiales incorporados hasta su mínimo tamaño.
- **Mezclado simple:** realizar un movimiento para permitir un homogenizado de la mezcla.
- **Reducción de viscosidad:** romper los enlaces mecánicamente para obtener una masa más manejable y menos elástica.

Para realizar este proceso de mezclado existen dos tipos de equipos. (Friedenthal, 1993)

- **Molinos abiertos:**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este molino está compuesto por dos cilindros con rotación contraria, horizontales y paralelos que se pueden ajustar mediante un mecanismo de tornillo el cual acerca o aleja el cilindro. Este movimiento es generado por un motor eléctrico.

Estos cilindros son generalmente huecos para su debida refrigeración y son elaborados con un material con un buen grado de dureza superficial, con el propósito de que permita soportar tanto la fricción de la mezcla como daños ocasionados por material particulado o un operario. (Friedenthal, 1993)

*Tabla 2 Ventajas y desventajas molino abierto (Friedenthal, 1993).*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Versátil	Ciclos largos de proceso
Buena refrigeración	Difícil obtener homogeneidad
Costos bajo	Operación sucia
	Difícil estandarización mezclado

**- Molino interno (reómetro de torque tipo Banbury):**

Este molino realiza la mezcla de los componentes por medio de dos rotores bajo la acción de un pistón. El ingeniero inglés fernley Banbury desarrolla este mezclador cerrado a mediados de 1904. Haciendo un equipo más eficiente y con mayor productividad.

Algunos sistemas de este molino como la cámara que contienen los rotores deben de estar cuidadosamente refrigeradas para tener un control adecuado de temperatura. Estos rotores que son contra rotantes tienen una forma específica que permite el movimiento de materia entre ellos. (Friedenthal, 1993)

*Tabla 3 Ventajas y desventajas molino interno (Friedenthal, 1993).*

VENTAJAS	DEVENTAJAS
Buena calidad	Aumento rápido de temperatura
Operación limpia	Alto costos
Tiempos de mezclado cortos	Mantenimiento más complejo

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Posibilidad de automatizar	Mayor dotación necesaria
	Necesita un molino en serie para completar el mezclado

## 2.6 Proceso de vulcanización

### 2.6.1 El proceso de vulcanización en el caucho

Consiste en la transformación de un material relativamente plástico, el caucho crudo, en un material altamente elástico, la goma o caucho vulcanizado. Durante este proceso la materia prima del caucho natural (látex o caucho seco) es mezclada con azufre hasta obtener una mezcla uniforme, y luego es llevado a altas temperaturas consiguiendo así que al caucho adopte su característica principal que es la de gran elasticidad y capacidad sufrir altas deformaciones. En la vulcanización por azufre, el azufre suele ser el ingrediente que se añade en último lugar durante la preparación de la mezcla, y por ello el que menos tiempo está sometido a la acción del mezclado. La reacción entre el caucho y el azufre, sin ningún otro aditivo, es muy lenta. Por ello fue de enorme importancia el descubrimiento de los aceleradores de la vulcanización, elementos que añadidos en cantidades pequeñas, aceleran notablemente la reacción entre el caucho y el azufre y permiten reducir consecuentemente el tiempo de vulcanización necesario. (Uran, 2010)

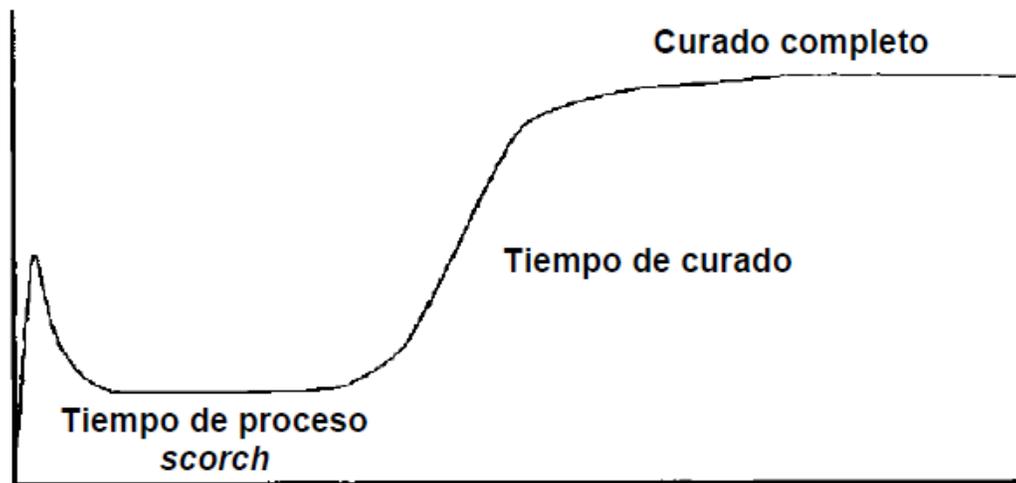
### 2.6.2 Reometría de vulcanización

La temperatura y el tiempo de vulcanización de un compuesto de caucho se pueden determinar a partir de una reometría de vulcanización, la cual se realiza a partir de la norma ASTM D5289. Este proceso se basa en la medición del torque requerido para procesar la muestra de caucho en función del tiempo a una temperatura establecida, esta técnica de medición permite identificar los tiempos óptimos de vulcanización a la temperatura de prueba utilizada, los cuales deben ser empleados dentro del proceso de vulcanización de una mezcla de caucho en particular, ya que estos tiempos pueden variar dependiendo de los aditivos que tenga el compuesto y de la base de la mezcla de caucho. En la Figura 3, se pueden observar las principales zonas de una reometría de vulcanización. En dicha reometría se pueden identificar tres zonas principales, estas son: zona de procesamiento,

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

zona de propiedades de curado y la zona de propiedades mecánicas. Las cuales permiten diseñar el plan de procesamiento de la mezcla de caucho. En la zona de procesabilidad se tiene un tiempo de proceso o de “scorch” que es el tiempo que se tiene para el caucho copie la geometría del molde. En la zona de propiedades de curado empieza la vulcanización y en la zona de propiedades mecánicas se estabiliza la vulcanización y es posible medir las propiedades mecánicas de la muestra.

(Uran, 2010)



*Figura 3 Esquema de una reometría de vulcanización (Uran, 2010)*

## **2.7 Caracterización mecánica de los compuestos del Caucho**

La caracterización consiste en determinar las principales características químicas, térmicas, físicas y mecánicas de los materiales bajo evaluación, tanto antes como después de modificar cualquier variable del proceso de producción. (Uran, 2010)

### **2.7.1 Propiedades mecánicas de compuestos de caucho natural**

#### **2.7.1.1 Pruebas normalizadas**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las propiedades que son medidas más frecuentemente son las propiedades mecánicas, estas incluyen la dureza, la resistencia última a tracción, la elongación última y el esfuerzo al 100%, 200% y 300% de deformación bajo tracción. A continuación se definen algunas de las pruebas más comunes que se realizan a los compuestos de caucho natural y sintético. (Uran, 2010)

#### **2.7.1.1.1 Dureza:**

Es probablemente la propiedad más sencilla de medir y la más medida en los cauchos vulcanizados. Como medida, la dureza es la resistencia relativa de la superficie del caucho a la deformación por un indentador (punta) de forma troncocónica para medir la dureza Shore A hasta lecturas de 90 y de forma cónica para medir la dureza Shore D, cuando se obtengan lecturas mayores a 90 shore A. La dureza en compuestos de cauchos se mide bajo la norma ASTM D 2240. (Uran, 2010)

#### **2.7.1.1.2 Propiedades a tracción: Esfuerzo-Deformación:**

La resistencia última a tracción (UTS-MPa), elongación última (UE-porcentaje), el esfuerzo o módulo al 100%, y al 300% de deformación (MPa) y la deformación son medidas durante el estiramiento de una probeta en forma de mancuerna (de acuerdo a la norma ASTM D412). Para la prueba de cauchos la velocidad de deformación es generalmente del 500 mm/min. Estas propiedades son normalmente medidas a temperatura ambiente (23°C). El esfuerzo de ingeniería es la fuerza requerida para estirar la probeta dividida por el área de sección transversal original de la misma. Para los elastómeros, el verdadero esfuerzo a la fractura (fuerza dividida por el área de la sección transversal en el momento de la fractura) es aproximado por la multiplicación de la resistencia a la tensión de ingeniería por la relación de extensión a la fractura. (Uran, 2010)

$$\lambda_B, (\lambda_B = 1 + [UE\%/100])$$

Ecuación 1.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 4 Curva de esfuerzo deformación de algunos polímeros se presenta una comparación entre el comportamiento bajo tracción de varios tipos de materiales poliméricos. (Uran, 2010)

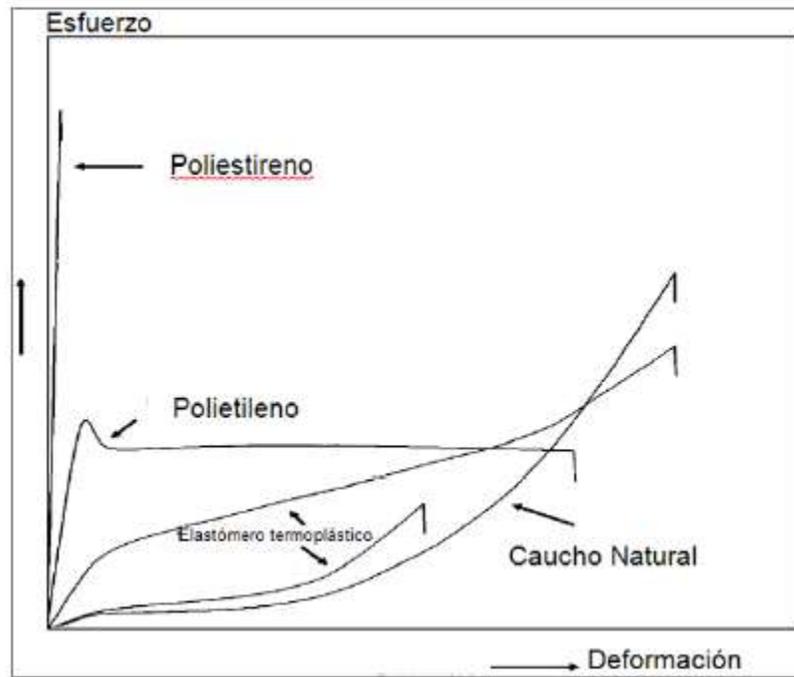


Figura 4 Curva de esfuerzo deformación de algunos polímeros (Uran, 2010)

#### 2.7.1.1.3 Resistencia al desgarre:

La resistencia al desgarre de los cauchos, es una medida de fuerza por unidad de espesor de la probeta. Hay varios tipos de probeta para la prueba de desgarre, con correlación limitada entre los resultados obtenidos de las pruebas y de los diferentes tipos de probeta. Algunos son cortados (con cuello) para dar un punto de inicio del desgarre, mientras que otros no. Una muestra frecuentemente usada es la probeta con un cuello a 90° (de acuerdo a la norma ASTM D624 Molde C). (Uran, 2010)

#### 2.7.1.1.4 Compression-set:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El *compression-set* es la deformación residual de un material después de remover un esfuerzo de compresión aplicado. Para el buen desempeño en algunas aplicaciones el valor de *compression-set* deber ser bajo. Un valor bajo indica que un material recupera un alto porcentaje de su altura original después de la compresión y de liberar la carga compresiva. Las pruebas de *compression-set* son realizadas por la aplicación de una fuerza específica a una probeta de prueba (Método A de la norma ASTM D395) o por la compresión de una probeta de prueba a una deformación especificada (Método B de la norma ASTM D395). (Uran, 2010)

#### **2.7.1.1.5 Hinchamiento**

Es un proceso utilizado para la determinación de la densidad de un polímero o el grado que posee de entrecruzamiento de los compuestos elastómericos, este proceso se basa en la teoría de Flory –Rehner (F-R). Esta teoría indica que un polímero es un gel, que adicionando determinado solvente, sufre un hinchamiento, debido a los entrecruzamientos que se generan entre los compuestos poliméricos durante el proceso de la vulcanización.

F-R plantean en su teoría un equilibrio termodinámico entre las cadenas del elastómero y el solvente utilizado, con la reacción que se genera entre los compuestos y el análisis de la termodinámica de la mezcla se puede obtener un hinchamiento determinado del polímero y con este determinar la densidad de los puentes.

La relación de F-R está determinada por parámetro ( $\chi$ ) de Flory-Huggins, en la Ecuación 2 Parámetro ( $\chi$ ) Flory-Huggins

En el proceso de la vulcanización el 100% de las cadenas no quedan vulcanizadas, es precisamente lo que esto lo que se determina con las pruebas de hinchamiento.

$$X = \frac{V_1}{RT} (\delta_1 - \delta_2)$$

*Ecuación 2 Parámetro ( $\chi$ ) Flory-Huggins*

Donde X es el parámetro Flory-Huggins

$V_1$  Es el Volumen molar del solvente

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

R es la constante universal de los gases

T es la temperatura

$\delta$  Es la solubilidad de las especies

De la Ecuación 2 Parámetro (x) Flory-Huggins se puede determinar que el parámetro X siempre será constante para cualquier mezcla de elastómeros con solventes a evaluar, pero esto nos arroja el volumen del elastómero en su hinchamiento máximo, lo que realmente se toma en cuenta en las pruebas de hinchamiento.

(Urrego & Álvarez) (Urrego, Efecto del sistema de vulcanización en la cinética de reacción y en las propiedades físico-químicas de un caucho natural Colombiano) (P.W & G.M, 1963)

#### **2.7.1.1.6 Densidad**

La densidad es la propiedad física que determina la cantidad de masa que existe en un cuerpo por el volumen que este ocupa, está determinada por la expresión  $\rho = \frac{m}{v}$ , donde  $\rho$ , es densidad, m es la masa y v es el volumen del cuerpo.

### **2.8 Actualidad del uso del cuero en mezclas con polímeros**

Actualmente se encuentran trabajos donde se realizaron varias mezclas de los derivados posindustriales de los procesos con el cuero, para realizar polímeros con mejores características.

La adición de esta materia prima se puede determinar dependiendo de la aplicación para la cual se destinará el producto final, una de las aplicaciones para las mezclas de los residuos posindustriales del cuero y el caucho es la elaboración de calzado, donde este material le aporta una gran capacidad de adaptabilidad a la forma del pie al caucho, obteniendo así, un producto final más comfortable. (Rajaram, 2009)

Además de esta gran resistencia que brinda la adición de los desechos sólidos del procesamiento del cuero, al final de su proceso de vida útil ya no sería materiales peligrosos

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

como al inicio de su vida como materia prima, por lo contrario, se convierten en materiales inertes y que no representan un riesgo alto para la salud. (Ferreira, 2011)

Durante las pruebas realizadas a los materiales compuestos por polímeros y los residuos sólidos del tratamiento del cuero con cromo, se ha descubierto que el resultado son materiales muy versátiles y de gran aplicación, donde se puede obtener materiales con un muy buen flujo de aire pero también muy buenos aislantes acústicos, ampliación de la elongación del elastómero, también pueden brindar muy buenas capacidades de acabado, dentro de estas aplicaciones se encuentran los interiores de los vehículos, y nuevamente el calzado entra en su campo de uso, siendo este su mayor aplicación. (Ravichandran, 2005)

Estas mezclas consisten en adicionar residuos sólidos del procesamiento del cuero en tiras o en partículas de 1 mm de espesor al elastómero acrilonitrilo Butadieno, esto aporta una gran resistencia a la tracción y aumenta su módulo de elongación en un 100%, también ayuda a mejorar el coeficiente de envejecimiento al igual que le brinda a los materiales una mejor estabilidad térmica. Para generar diferentes tipos de materiales compuestos se puede adicionar también PVC para lograr materiales muy rígidos y bastantes formables, tal como se aprecia en la figura 5. (El-Sabbagh, 2011) (Rajaram, 2009)



*Figura 5 Forma de zapato hecha de LPPCs que comprende partículas de epoxi / cuero flexibles en relación de 50:50 respectivamente utiliza para hacer forma de zapato. (Rajaram, 2009)*

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

#### 3.1 Búsqueda bibliográfica:

Se realizaron búsquedas bibliográficas de páginas web, bases de datos de la institución, bases de datos libres como google académico, libros y demás apoyo bibliográfico que hemos encontrado, tales como, tesis de grado disponibles en la web relacionadas con el tema, artículos de revistas, normas ASTM.

#### 3.2 Metodología experimental:

El desarrollo experimental se llevó a cabo de la siguiente manera:

- **Elección de los materiales a trabajar:** Caucho natural técnicamente especificado, y residuos de cuero con tamaños de partícula controlados de acuerdo al análisis granulométrico, materiales adquiridos con los proyectos P15110 y P15111.
- **Formulación de los compuestos de caucho natural con el cuero posindustrial:** Se seleccionó una formulación básica con el propósito de establecer el efecto de los residuos de cuero en las propiedades fisicoquímicas del caucho natural.
- **Mezclado de los compuestos:** Los materiales fueron mezclados con el resto de ingredientes en un reómetro de torque ubicado en el parque i del ITM, de otra manera, el azufre se adicionó en el molino abierto ubicado en el laboratorio de polímeros de la Universidad de Antioquia, esto con el propósito de evitar la pre vulcanización de los compuestos.
- **Vulcanización de los compuestos:** La reometría de vulcanización fue llevada a cabo en la universidad de Antioquia, se conocieron los tiempos óptimos de vulcanización para todos los compuestos, siempre a una temperatura fija de 150°C, a partir de estos resultados se vulcanizaron los materiales mediante moldeo por compresión en una prensa ubicada el

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

laboratorio de polímeros de la Universidad de Antioquia y a partir de los materiales vulcanizados se obtuvieron las probetas estándar de ensayos para poder caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los materiales compuestos.

- **Evaluación de las propiedades físicas de los compuestos:** Se evaluaron propiedades mecánicas del material como la resistencia en tensión, los módulos al 100% y 300% de deformación, la dureza, la resistencia al desgarre, resistencia a la compresión, a la flexión y a la abrasión, todos estos ensayos fueron realizados en los laboratorios del SENA y del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

##### 4.1 Selección del material y formulación de las mezclas

Se realizó la selección de los tamaños de los residuos del cuero, el material empleado en la experimentación correspondió a material pasante por malla 10 y retenidos en malla 20, en la Figura 6, se puede apreciar el rango de tamaños a usar para la clasificación de los residuos del cuero.



*Figura 6 Selección de tamaños de residuos del cuero para la mezcla*

En la Tabla 4, la letra M significa malla y el número que le sigue, indica el número de hilos que posee por pulgada cuadrada. Se observa que la mayor cantidad de masa presente en los residuos del cuero, están comprendidos entre la M10 y la M20, debido a esto, se seleccionaron estos tamaños de cuero para realizar las mezclas de interés en el proyecto de investigación.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*Tabla 4 Rango de tamaños de tamizado para residuos del cuero*

<b>Retenido tamices serie Tyler *</b>	<b>Equivalencia en mm</b>	<b>Masa (g)</b>
M 8	2,4	845,3
M 10	1.65	237,5
M 14	1.41	460
M 16	1.18	189,6
M 20	0.84	522,2
M 30	0.60	488,7
M 40	0.42	958,5
M 50	0.30	405,1
M 60	0.25	39,4
M 100	0.15	34,2
<b>Bandeja</b>	Inferior a 0.15	52,7

Posterior a la selección del material a utilizar se establece la formulación para las mezclas de los residuos del cuero con el caucho natural y los demás componentes para la vulcanización, como se aprecia en la Tabla 5 Formulación estándar de acuerdo a la norma ASTM D 3184.

*Tabla 5 Formulación estándar de acuerdo a la norma ASTM D 3184*

<b>Material</b>	<b>PHR (Parts per Hundred Rubber)</b>
<b>Caucho Natural</b>	100
<b>Óxido de Zinc</b>	6
<b>Residuos del cuero</b>	0, 20,40, 60, 80 y 100

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<b>Azufre</b>	3,5
<b>Ácido Esteárico</b>	0,5
<b>TBBS</b>	0,7

Luego se inicia el proceso de mezclado de cada uno de los materiales de cada formulación, posteriormente se evaluaron los tiempos de vulcanización y se fabricaron las probetas de ensayo con el fin de utilizarlas en las pruebas y poder obtener la información suficiente para interpretar el comportamiento del material vulcanizado. En la Figura 7, se aprecia el proceso de mezclado del material mediante un molino abierto.



*Figura 7 Mezclado de los compuestos en molino abierto.*

En la Figura 8 se aprecia el material después de ser procesado en el molino abierto.



*Figura 8 Pieza obtenida del molino abierto*

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

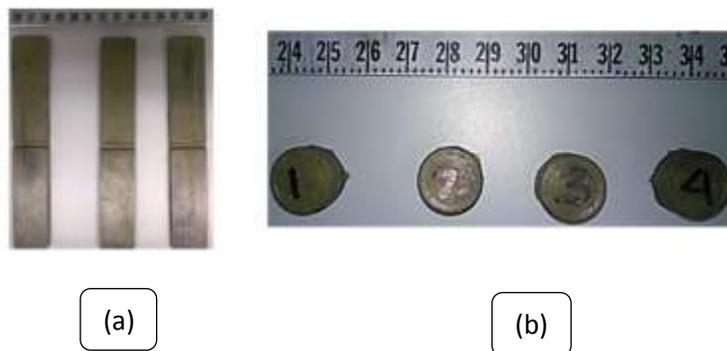
En la Figura 9, se pueden observar dos de las probetas utilizadas en los ensayos, la imagen (a), corresponde a la probeta usada para realizar ensayos de tensión tipo IV según norma ASTM D412. La imagen (b), corresponde a los cilindros que se obtuvieron después del proceso de vulcanización a 150°C para efectuar los ensayos de propiedades bajo compresión de acuerdo a la norma ASTM D575.



*Figura 9 Probetas para ensayos de tensión (a) y compresión (b).*

A continuación en la Figura 10 se observan dos probetas usadas para la evaluación de dos características de las mezclas del caucho sintético y natural con los residuos del cuero, en la imagen (a) se aprecia las probetas usadas para la realización de ensayos de acuerdo a la norma ASTM D813 para la realización de las pruebas de tensión Mattia.

En la imagen (b) de esta misma figura, se observan las probetas usadas en las evaluaciones de abrasión, estas probetas se obtuvieron bajo la norma ISO 4649:2010.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 10 Probetas para evaluaciones de flexión (a) y abrasión (b).

#### 4.2 Densidad

En la Figura 11, se observa el cambio en la densidad del caucho con la adición de cuero en proporciones de 20, 40, 60, 80 y 100 phr, se puede apreciar claramente que la densidad de la mezcla vulcanizada tiene una tendencia lineal a aumentar a medida que se aumentan las proporciones de phr, lo que nos indica que el cuero al tener una densidad mayor a la del caucho modifica su densidad aproximándola a la del cuero.

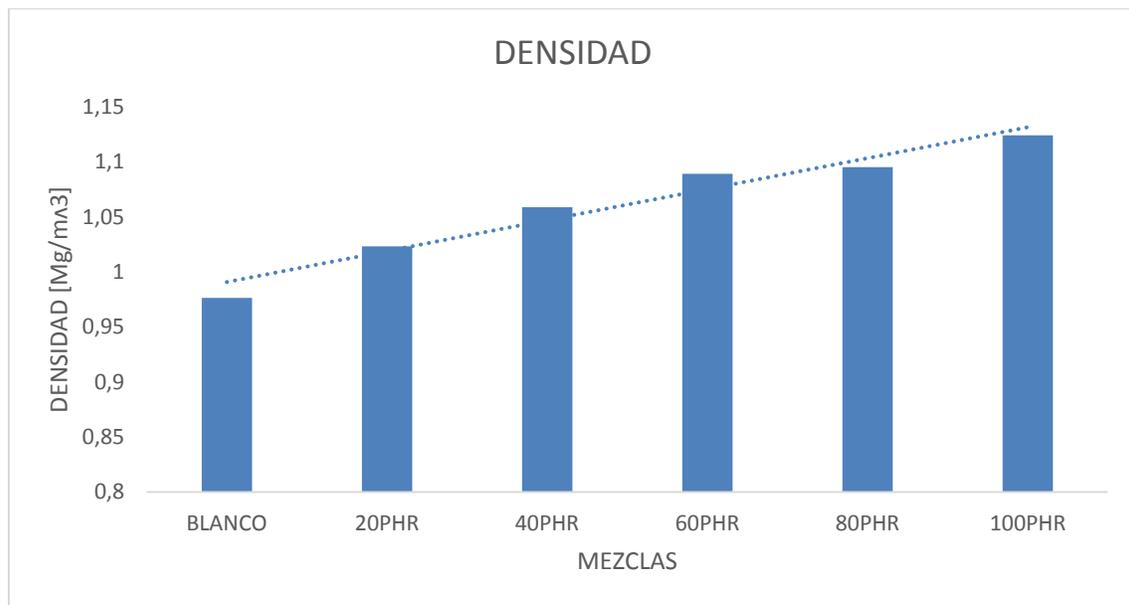


Figura 11 Densidad de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero.

#### 4.3 Reometría de Torque

En la figura 12 se describe el proceso de mezclado del caucho natural con los residuos de cuero y con los demás ingredientes, proceso llevado a cabo en el reómetro de torque, durante la etapa 1 se adiciono el caucho al molino, en esta etapa se ve como el torque disminuye a medida que aumenta la proporción de residuos de cuero en la mezcla, esto es

porque cada vez que se adiciona más residuos de cuero hay menos cantidad de caucho, teniendo un torque de 55 N.m en el caucho blanco y 15 N.m en la mezcla de 100 phr. Durante la etapa 2 se adiciono activadores (óxido de zinc, acido esteárico, etc.) en donde el comportamiento del torque en el tiempo no tiene cambios significativo y en la etapa 3 se realizó la adición de los residuos de cuero viendo un aumento del torque al adicionar los diferentes tamaños con lo que trabajamos las mezclas, en el caso de 20 y 40phr vemos un solo pico de torque esto debido a que es más poca cantidad de cuero y se puede realizar una sola adición caso contrario a las formulaciones de 60,80 y 100 phr en los que las adiciones se realizaron por partes creando varios picos de torque llegando hasta valores de 50 N.m en la mezcla de 100 phr, esto debido a que la cantidad de residuos de cuero es mayor.

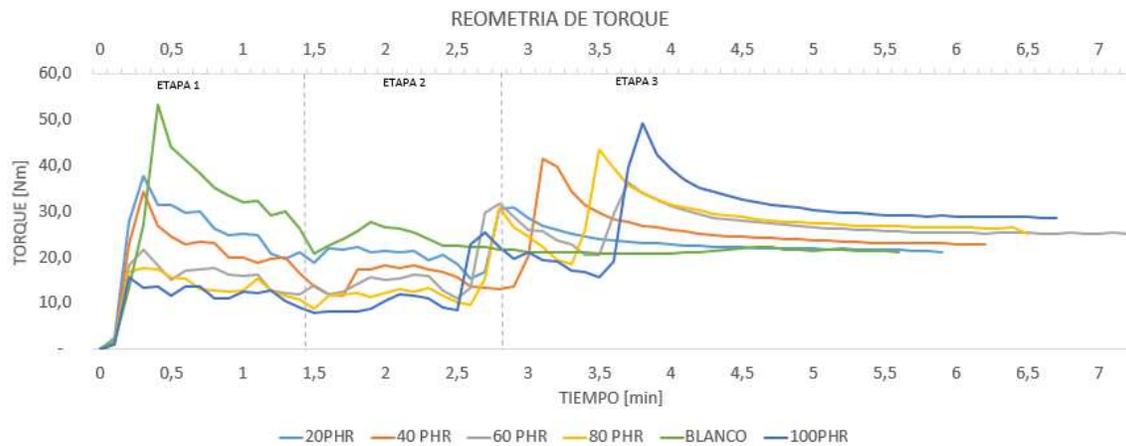


Figura 12 Reometrías de torque de las mezclas de caucho natural con la adición de 20,40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero

#### 4.4 Reometría de Vulcanización

En la Figura 13, se puede apreciar el comportamiento de las variables de tiempo de inicio del proceso de vulcanización (tiempo scorch) y los tiempos óptimos de vulcanización. Dentro del comportamiento del material se observa que para las formulaciones de 60,80 y 100 phr el tiempo de inicio de la reacción de vulcanización (TS0) es cercano a los 5 minutos mientras que para las formulaciones de 20 y 40 phr este tiempo está sobre los 5 minutos.

Durante el proceso de vulcanización de los materiales se observa que al aumentar los phr de residuos de cuero la diferencia de los torques máximo y mínimos generados durante la reometría de vulcanización (MH-ML) aumentan considerablemente, esto significa que al aumentar la cantidad de residuos de cuero el material se torna con mayor rigidez y mayor resistencia a generar las pequeñas deformaciones que le genera la máquina, es decir, la maquina debe aplicar mayor fuerza para poder generar estas deformaciones.

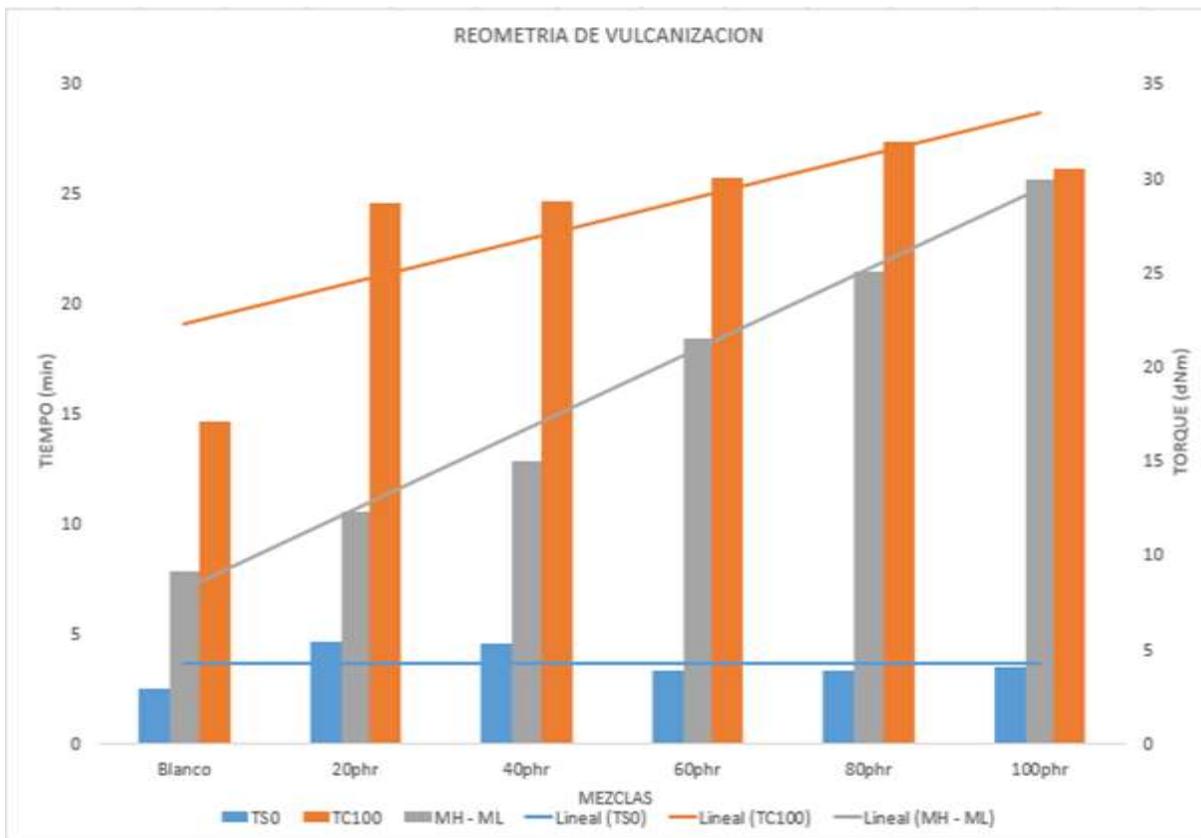


Figura 13 Reometría de vulcanización de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero

#### 4.5 Desgarre

Dentro de las pruebas de desgarre se utiliza una probeta en forma de luna a la cual se le hace una pequeña incisión en un costado y se monta a la maquina universal de ensayos hasta que se propague dicha incisión al punto de romperse la probeta.

En dicha prueba observamos que al adicionar mayor cantidad de material residuo del cuero, el material se rompe más fácilmente y no presenta un alto desplazamiento. Esto demuestra que adicionando residuos del cuero a las mezclas del caucho, este se vuelve más rígido y pierde su propiedad elástica. Lo anterior se observa en la Figura 14.

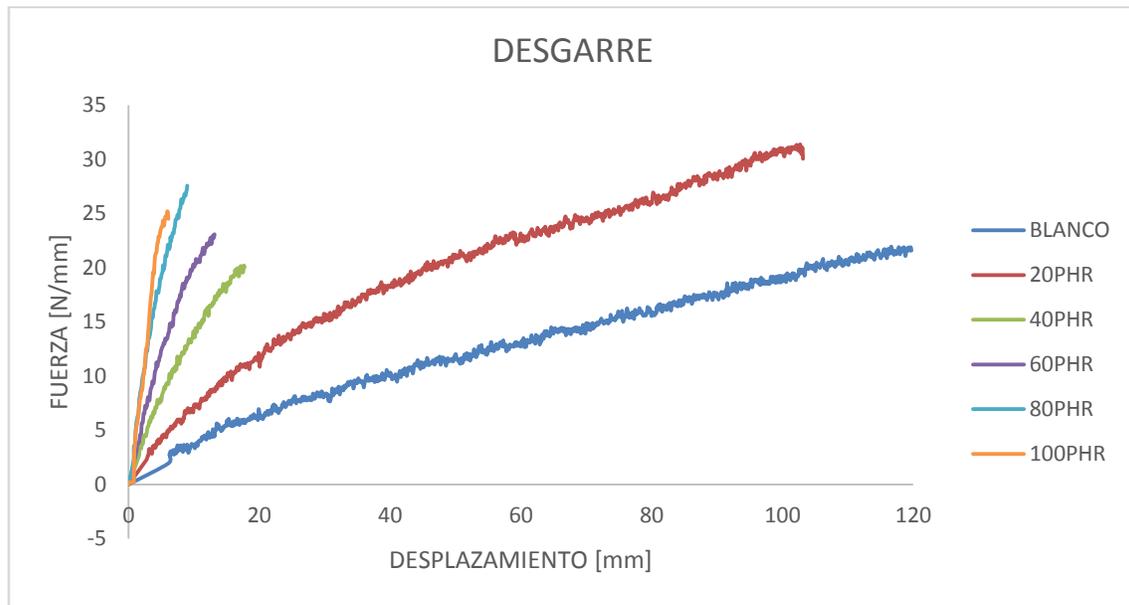


Figura 14 Evaluaciones de Desgarre de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero.

#### 4.6 Tensión

Al realizar las pruebas de tensión referenciando la deformación de las probetas, se puede analizar y determinar que las formulaciones de 100,80 y 60 phr tienen un punto de ruptura inferior a la deformación al 300%, esto quiere decir que el material adicionado con los residuos del cuero es menos elástico, pero si vemos la formulación de 40 phr, la deformación llega hasta el 600%, quedando en un punto intermedio, ya que las formulaciones 20 phr y blanco, pueden superar el 900% en deformación, los valores

mayores al 900% no fueron reportados debido a que se genera deslizamiento en las mordazas de la máquina de ensayos, lo cual arroja datos errados. Las deformaciones obtenidas en las pruebas de tensión, se pueden evidenciar en la Figura 15.

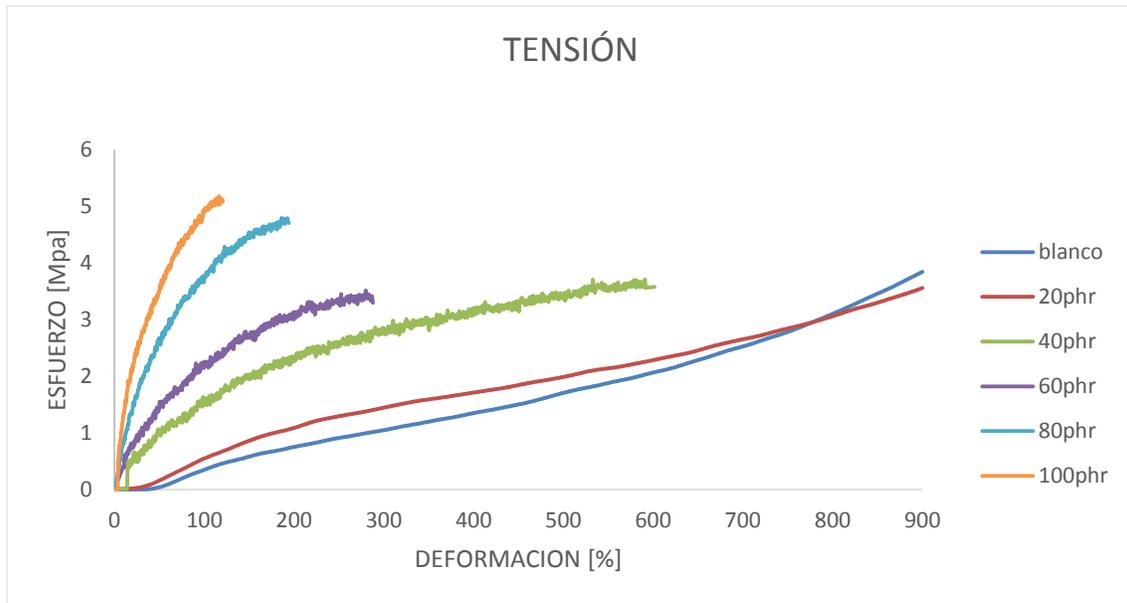
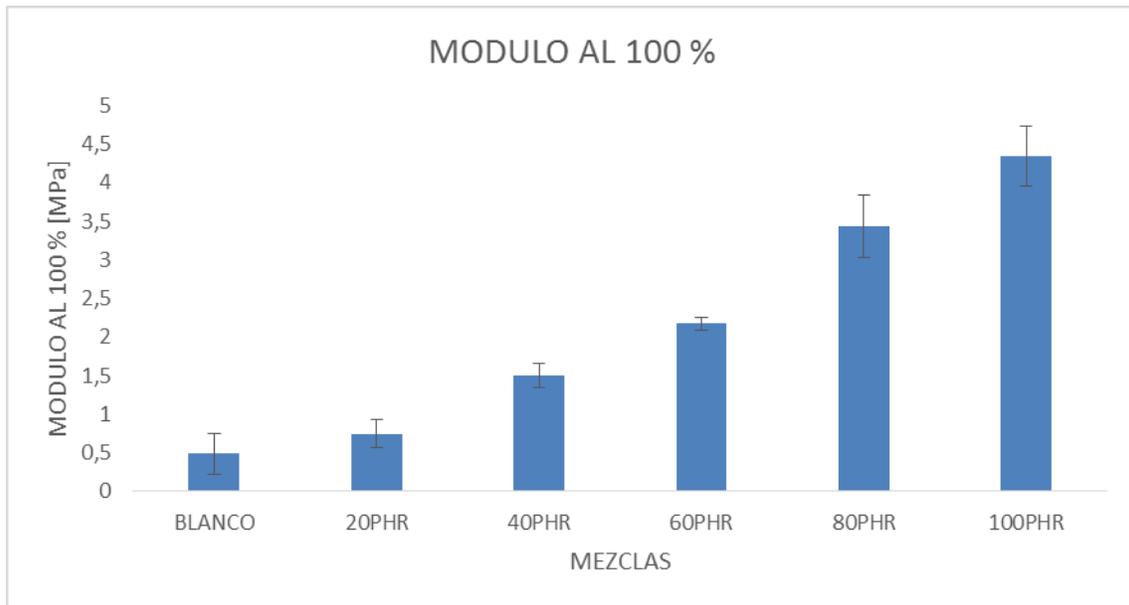


Figura 15 Evaluaciones de Tensión de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero

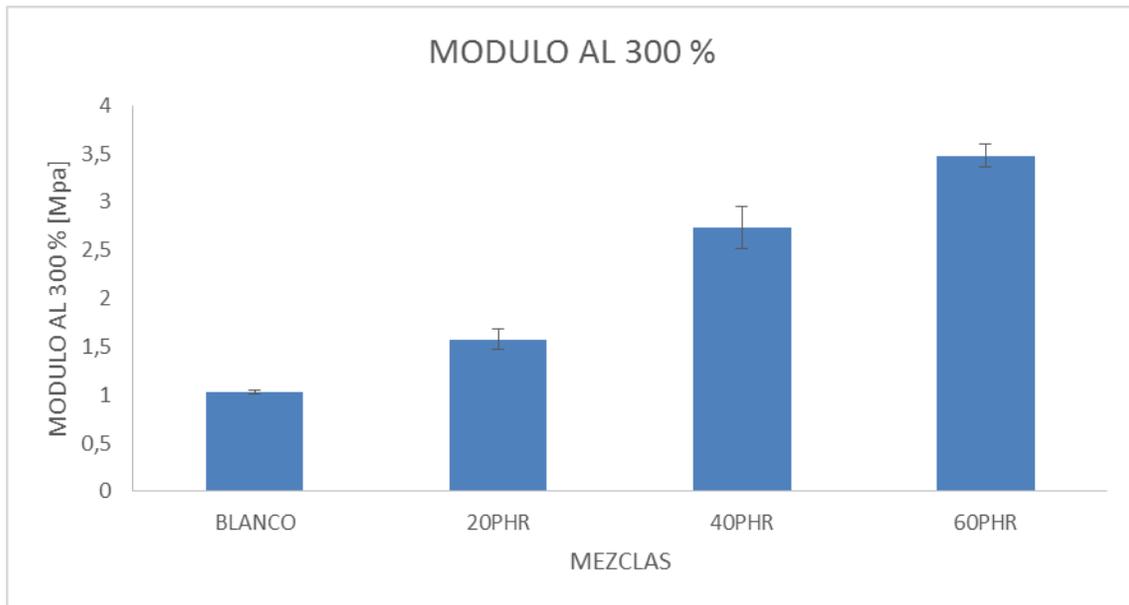
#### 4.6.1 Modulo al 100%



*Figura 16 Modulo al 100% de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero.*

En la Figura 16, se observa el comportamiento de la rigidez del material cuando ha alcanzado una deformación del 100% durante las pruebas de tensión, en esta se puede observar que para las formulaciones blanco, 20 y 40 phr, el material no requiere de altos esfuerzo para sufrir deformaciones del 100%, pero si se analizan las formulaciones restantes, su puede inferir que se requiere de un esfuerzo mayor para generar una deformación del 100%, pasando de 2 Mpa en la formulación 60 phr a 3,5 Mpa en 80 phr y 4,5 en 100 phr.

#### **4.6.2 Modulo al 300%**

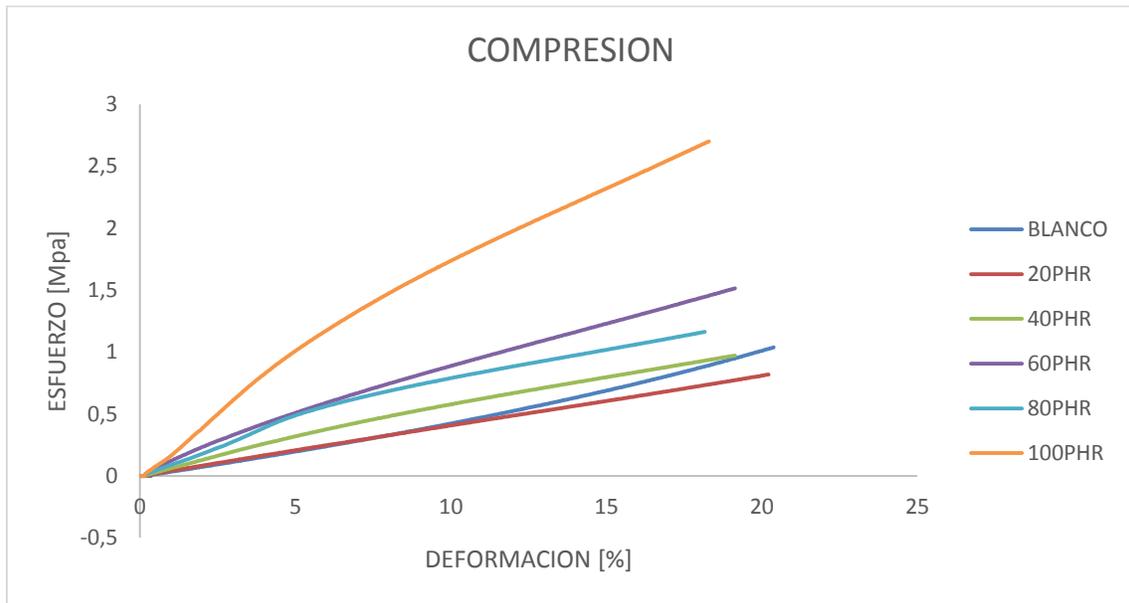


*Figura 17 Modulo al 300% de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40 y 60 phr de residuos de cuero.*

En la Figura 17, se puede observar el modulo al 300% de las deformaciones sufridas por el material, sólo se grafican las formulaciones desde el blanco hasta 60 phr, esto debido a que las formulaciones 80 y 100 phr, sufrieron ruptura antes de llegar a este valor. Se analiza que el incremento de esfuerzo necesario para deformar el material tiene un aumento lineal a medida que se aumentan los phr de las formulaciones.

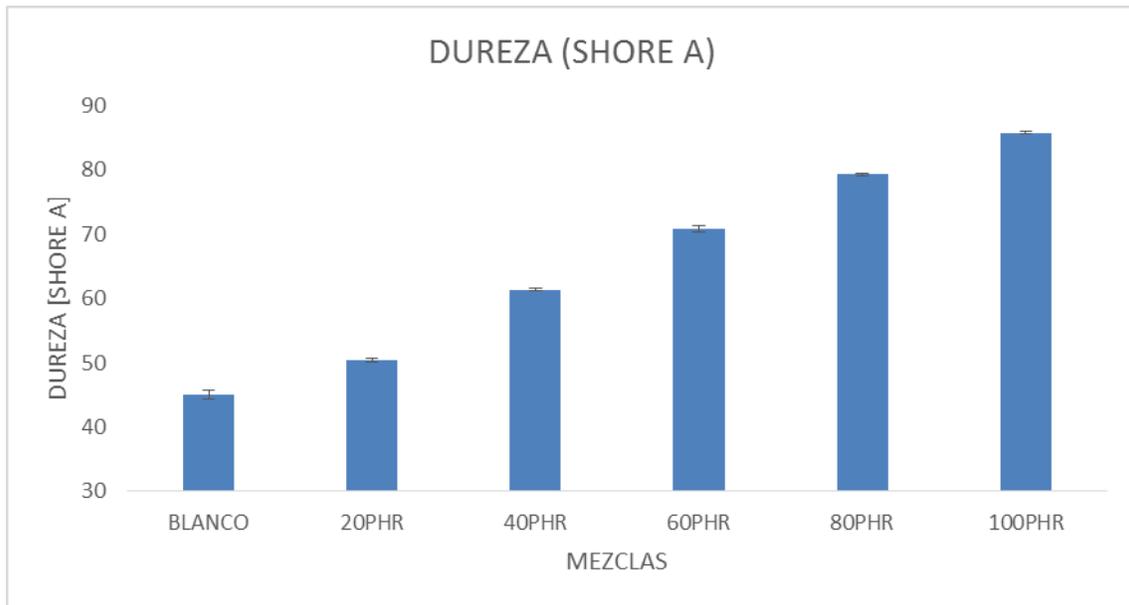
#### **4.7 Compresión**

En la Figura 18, se observa que la resistencia a la deformación del material por compresión en las diferentes formulaciones, aumenta a medida que aumentan las phr de residuos de cuero, pero sucede algo inusual en las formulaciones 60 y 80 phr, ya que para lograr las deformaciones en la formulación 60 phr fue necesario aplicar mayor esfuerzo que en la formulación con 80 phr, es anormal ya que a medida que aumenta la formulación en relación a los phr, el material se vuelve más rígido. Sin embargo la tendencia de los compuestos de caucho natural y residuos de cuero posindustrial sigue siendo la misma, donde al adicionar mayor proporción de residuos de cuero, la resistencia en compresión del material tiende a aumentar.



*Figura 18 Evaluaciones de Compresión de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero.*

#### 4.8 Dureza shore A

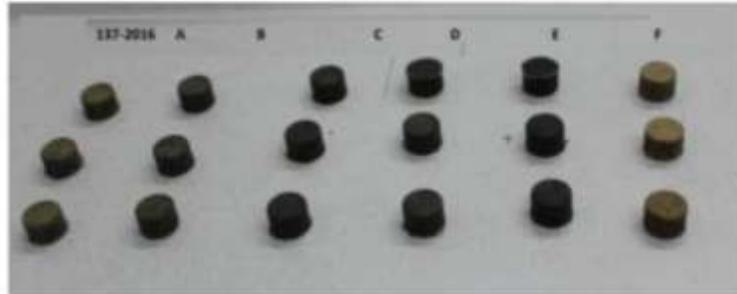


*Figura 19 Evaluaciones de Dureza de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero.*

La dureza Shore A es la, al analizar la Figura 19, se aprecia el comportamiento de la dureza en las mezclas a diferentes formulaciones de cuero. Se aprecia que para la formulación de 100phr la dureza tiene una medición de 80 puntos en la escala Shore A, pero aun siendo esta medición tan alta, aún sigue dentro la escala Shore A y el material se puede seguir catalogando como elastómero y si observamos las otras formulaciones, se nota una tendencia ascendente a medida que se aumenta la cantidad de phr del cuero en cada formulación.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.9 Desgaste



*Figura 20 Probetas de caucho para realizar ensayo de resistencia (ISO 4649-2010 método A)*

En las pruebas de desgaste realizadas a las probetas a las diferentes formulaciones, se observa un comportamiento no lineal de esta propiedad y especialmente para 100phr el desgaste a la abrasión disminuye considerablemente respecto a las demás formulaciones. También podemos observar que al agregar 40 phr los valores arrojados del índice de abrasión alcanzaron su máximo punto y las formulaciones restantes si tiene un comportamiento muy similar. El índice de abrasión es la medida con la cual se define la resistencia al desgaste de un material vulcanizado por lo que se puede concluir que entre más alto el índice de abrasión menor es el desgaste de la muestra lo cual indica que la resistencia a la abrasión es mejor.

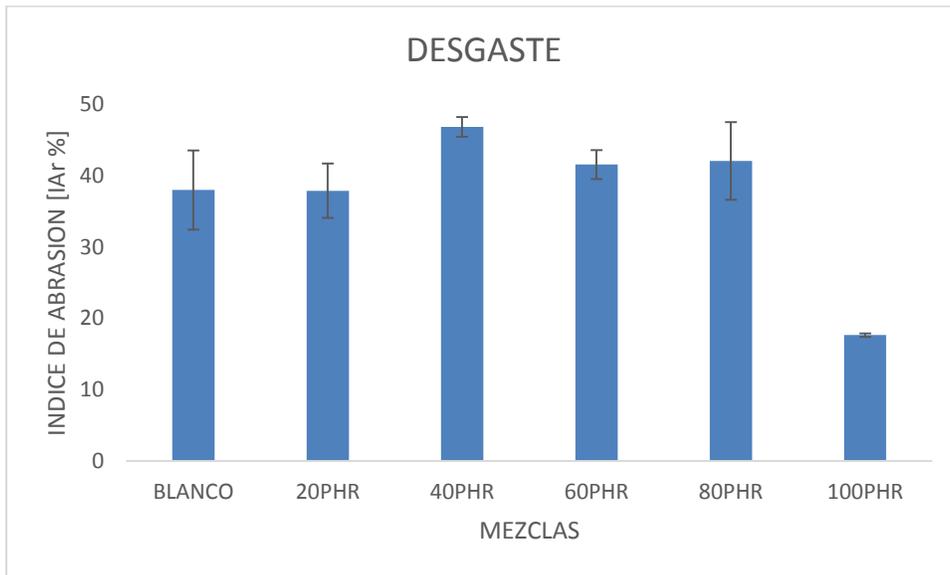


Figura 21 Evaluaciones de Abrasión de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero.

#### 4.10 Flexión



Figura 22 Probetas de caucho extraídas en el laboratorio para la evaluación de dureza y flexión Demattia.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el ensayo de flexión se obtienen resultados claros que nos muestran la fragilidad del caucho natural al ser mezclado con las cantidades de mezclas con las que fueron mezcladas y vulcanizadas las probetas correspondientes para realizar la prueba, vemos como el caucho natural sin residuos de cuero tiene un mejor comportamiento sin mostrar grietas cuando se han realizado 8600 ciclos, por otro lado al adicionarle la menor cantidad de cuero (20phr) al realizar 860 ciclos ya se empiezan a mostrar grietas entre 0.5 mm y 1 mm y cuando se adicionan 80 phr y 100 phr al caucho natural en el ciclo cero presenta grietas mayores de hasta 15 mm, lo que nos demuestra una fragilidad significativa al realizar las mezclas.

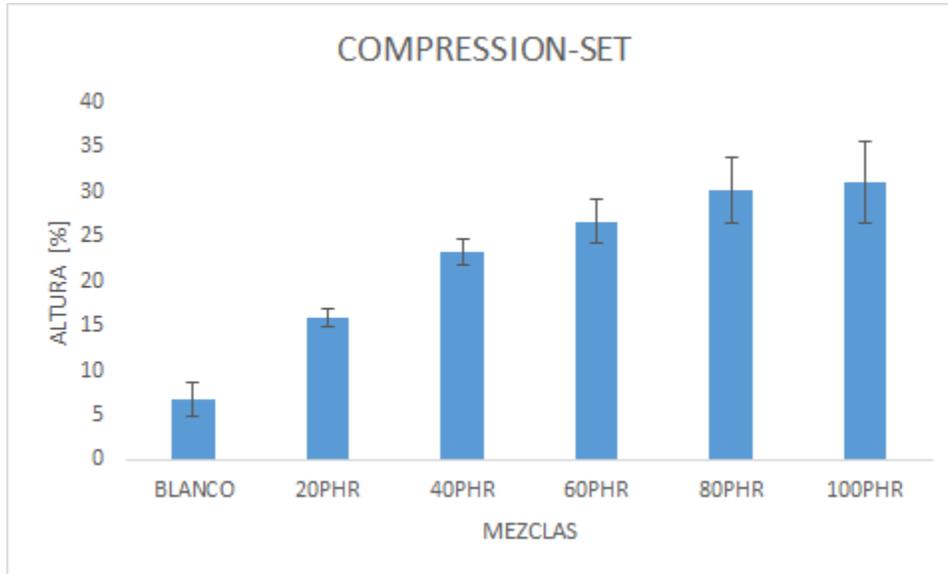
Grado 0	No hay aparición de grietas
Grado 1	Las grietas en esta etapa aparecen como pinchazos visibles con lupa. Grado 1, menos de 10 pinchazos en serie y menos de 0,5 mm de longitud.
Grado 2	Se evalúa como grado 2 en cualquiera de los siguientes casos: 1. Los pinchazos son más de 10 2. El número de grietas es menor a 10 pero uno o más grietas se han desarrollado más allá de la etapa de pinchazo, longitud perceptible, sin mucha profundidad, pero su longitud es todavía menor a 0,5mm.
Grado 3	Evaluar como grado 3 si una o más pinchazos se han convertido en grietas evidentes con una longitud mayor a 0,5 mm, pero inferior a 1,0mm.
Grado 4	La longitud de la grieta más grande es mayor que 1,0 mm pero no mayor que 1,5 mm (0,06 pulgadas)
Grado 5	La longitud de la grieta más grande es mayor que 1,5 mm pero menor a 3,0 mm (0,12 pulgadas)
Grado 6	La longitud de la grieta más grande es mayor que 3,0 mm pero menor a 5,0 mm (0,12 pulgadas)
Grado 7	La longitud de la grieta más grande es mayor que 5,0 mm pero menor a 8,0 mm (0,31 pulgadas)
Grado 8	La longitud de la grieta más grande es mayor que 8,0 mm pero menor a 12,0 mm (0,47 pulgadas)
Grado 9	La longitud de la grieta más grande es mayor que 12,0 mm pero menor a 15,0 mm (0,60 pulgadas)
Grado 10	La longitud de la grieta más grande es mayor que 15,0mm. Esto indica fallo completo de la muestra.

*Figura 23 Recomendaciones para la interpretación de las pruebas de Flexión*



Figura 24 Prueba de flexión para las mezclas 20, 40, 60, 80 y 100 phr

#### 4.11 Compression-set



*Figura 25 Compression-set de las mezclas de caucho natural con la adición de 20, 40, 60, 80 y 100 phr de residuos de cuero*

En la figura 25 podemos observar el comportamiento lineal que se presenta al adicionar mayor cantidad de residuos de cuero en la resistencia a la compresión permanente (compression set), se observa como la deformación remanente del material aumenta significativamente, obteniendo unas mezclas con una mejor sellabilidad en las mezclas de 20 y 40 phr.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- Basados en los análisis de los resultados de las diferentes pruebas a las mezclas de caucho con cuero en sus formulaciones 20, 40, 60, 80 y 100 phr, se observa como las distintas propiedades analizadas en este trabajo de investigación pueden cambiar trascendentalmente aumentando o disminuyendo las características, esto nos ayuda a definir qué tipo de mezclas son las que se adaptan mejor a determinado producto que se vaya a realizar.
- Se observó que utilizando los residuos del cuero como material reforzante, el caucho aumenta su rigidez, pero a su vez, disminuye su capacidad de deformarse en grandes proporciones, especialmente en las formulaciones 60, 80 y 100 phr. Lo que lo hace propicio para aplicaciones que requieran poca deformación con una gran rigidez y dureza.
- Tomando en cuenta el aumento de la rigidez del caucho al adicionar los residuos del cuero en las diferentes formulaciones, se plantea que este material podría utilizarse para aplicaciones de recubrimientos de pisos industriales donde se requiera protección de los pisos cerámicos.
- Se plantea una mejora en trabajos futuros elaborando muestras de un producto final para caracterizar las propiedades en las condiciones reales de uso.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- El-Sabbagh, S. M. (2011). *Recycling of Chrome- Tanned Leather Waste in Acrylonitrile Butadiene Rubber*. Wiley online library.
- Espinace. (1979). *manual de laboratorio granulometria*. Obtenido de [http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/granulometria.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/granulometria.pdf)
- Ferreira, M. F. (2011). *Formulation and Characterization of Leather and Rubber wastes composites*. Society of Plastics Engineers.
- Friedenthal, E. (1993). *formulacion y compuestos de caucho*. medellin: ICIPC.
- Leather Trade. (Junio de 2011). *Leather Trade, Productos En Cuero Con Calidad De Exportacion*. Obtenido de <http://leathertrade20.blogspot.com.co/p/impacto-ambiental-del-cuero.html>
- M, Carol; Barry, F; A-M.B; Mead, Joy L;. (2004). *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites*. MacGraw-Hill.
- macromoleculas, curso automovil. (s.f.). *el caucho*. Obtenido de [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/paginas/El\\_caucho.htm](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/paginas/El_caucho.htm)
- Ojeda, M. (5 de Julio de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/07/poliisopreno-caucho-natural-y-sintetico.html>
- P.W, A., & G.M, B. (1963). *The gel phase in Natural Rubber* (Vol. VII). J. Appl. Polym. Sci.
- Rajaram, J. G. (2009). *Preparation, Characterization and Application*. Springer Science + Business Media.
- Ravichandran, K. N. (2005). *Natural Rubber-leather Composites*. polimeros: ciencia e tecnologia.
- Uran, E. C. (2010). *Efecto de algunas de procesos y cargas reforzantes en el comportamiento mecánico y tribológico de un caucho natural sometido a desgaste abrasivo*. Medellín.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Urrego, W. (s.f.). Efecto del sistema de vulcanización en la cinética de reacción y en las propiedades físico-químicas de un caucho natural Colombiano. Medellín, Antioquia, Colombia.

Urrego, W., & Álvarez, M. (s.f.). RELACIÓN ENTRE EL CALOR DE VULCANIZACIÓN Y LA DENSIDAD DE ENTRECruzAMIENTO DE MEZCLAS REFORZADAS DE CAUCHO NATURAL COLOMBIANO Y CAUCHO ESTIRENO BUTADIENO (NR-SBR). *MATERIALES*, 28-34.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

---

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_  
*Steven Jimenez*  
*Daniel E. Girardo*

FIRMA ASESOR *William Ortiz J.*

FECHA ENTREGA: 27/02/2017

"PRIMERA ENTREGA JUNTA FINAL, PARA SOMETER A EVALUACION"

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_      ACEPTADO\_      ACEPTADO CON  
 MODIFICACIONES\_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO\_\_      ACEPTADO\_\_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES\_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_