



UNIVERSIDAD  
SAN SEBASTIAN

SEDE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROCESAMIENTO, CARACTERIZACIÓN Y APLICABILIDAD DE  
MATERIALES ELASTOMÉRICOS EN CONSTRUCCIÓN**

Memoria para Optar el Título de Ingeniero Civil

Profesor Guía: PhD Johanna Castaño Agudelo

Alumno: Paulina Alejandra Concha Rodríguez

Concepción, Enero 2019

© Paulina Alejandra Concha Rodríguez

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento siempre y cuando se incluya cita bibliográfica del documento.

## HOJA DE CALIFICACIÓN

En Concepción, el \_\_\_\_\_, los abajo firmantes dejan constancia que la alumna Paulina Alejandra Concha Rodríguez de la carrera Ingeniería Civil ha aprobado la memoria para Optar al título de Ingeniero Civil con una nota de \_\_\_\_\_.

---

Profesora Doctora Johanna Castaño Agudelo

---

Profesor MSc Patricio Ananías Uarac Pinto

## RESUMEN

Varias especies arbóreas, de distintas familias y géneros producen goma, pero no todos estos productos son tan útiles como el caucho, fabricado a partir del látex, que desde antes de la conquista de América los *serigueiros* extraían de la *Hevea brasiliensis*, haciéndole a puro cuchillo incisiones en el tronco. Cuando los españoles llegaron a las “Indias Orientales” se admiraron, entre otras cosas, de ver a los nativos jugar con pelotas de un material suave y duro a la vez, que rebotaba alegremente al ser arrojado al suelo; siglos después, un norteamericano llamado Goodyear descubriría cómo hacer de esta goma, que se reblandecía con el calor y se hacía dura y quebradiza con el frío, un producto resistente e inmutable, convertido luego por la industria automovilística en una mina de oro: el caucho. (Ledermann Dehndart, 2018)

En Chile, dentro de los materiales que más se utilizan para construir están la madera, acero, hormigón armado, etc. Pero muchas veces, construir con este tipo de materiales llega a ser un poco costoso. Es por esto que se han creado nuevas iniciativas e innovaciones con materiales reciclados. Entre estos, encontramos los Materiales Elastoméricos, los cuales son materiales orgánicos constituidos por moléculas poliméricas con capacidad para estirarse, desenrollarse, comprimirse, en definitiva, deformarse considerablemente. Dentro de estos materiales, encontramos dos clasificaciones: sintéticos y naturales.

Esta memoria de título tiene como principal motivación el reconocimiento de los Materiales Elastoméricos para poder ser utilizados en la construcción, estudiando su procesamiento, caracterización y aplicabilidad. Teniendo claro cada uno de los puntos nombrados anteriormente, se creará un prototipo de construcción de este tipo de material, para así, poder ser aplicado en algún tipo de obra, y a su vez, realizar una evaluación económica de dicha aplicación.

## ABSTRACT

Several tree species, of different families and genera produce rubber, but not all these products are as useful as rubber, made from latex, which before the conquest of America the serigueiros extracted from the *Hevea brasiliensis*, making it a pure knife incisions in the trunk. When the Spaniards arrived at the "East Indies" they admired, among other things, to see the natives play with balls of a soft and hard material at the same time, that bounced happily when thrown to the ground; Centuries later, an American named Goodyear would discover how to make this rubber, which softened with heat and became hard and brittle with the cold, a resistant product in immutable, then turned by the automobile industry into a gold mine: rubber. (Ledermann Dehdart, 2018)

In Chile, wood, steel, reinforced concrete, etc. are among the materials that are used most to build. But many times, building with this type of materials becomes a bit expensive. That is why new initiatives and innovations with recycled materials have been created. Among these, we find the Elastomeric Materials, which are organic materials constituted by polymeric molecules with the ability to stretch, unroll, compress, in short, deform considerably. Within these materials, we find two classifications: synthetic and natural.

The main motivation of this title memory is the recognition of Elastomeric Materials to be used in construction, studying their processing, characterization and applicability. Having each of the points mentioned above clear, a prototype of construction of this type of material will be created, in order to be able to be applied in some type of work, and at the same time, to make an economic evaluation of said application.

*Dedicado a mi familia. Papá, mamá y hermana. En especial, a mi papá, quién desde hace más de un año, me acompaña desde un lugar especial.*

## AGRADECIMIENTOS

Al finalizar esta etapa, no me queda nada más que agradecer a todos aquellos que siempre estuvieron conmigo, me apoyaron, contuvieron y me dieron ánimo en momentos difíciles.

Gracias a Dios, quien me dio la fortaleza, inteligencia y sabiduría en todo momento; A mi mamá, quien siempre me apoyó en cada decisión que tomé, y fue mi fuerza cuando yo no podía más. A mi hermana, quien aguantó mi mal carácter en momentos de estrés; a la familia Ortega-Labarca, por abrirme las puertas de su hogar, y quienes fueron mi segunda familia en toda la etapa, en especial a tía Mónica y Celeste; a mi Natanael, mi fiel compañero, quien me acompañó en mis momentos de alegría, como también de estrés. A su familia, por acompañarme todo este tiempo; a Diego y Annie, mis amigos de la vida, por siempre estar presentes, y por entregarme una razón más para seguir adelante, mi pequeña Emmita; a Diego y Emilyn, por ser mis fieles amigos y grandes admiradores; a David Valenzuela, mi buen amigo, quien siempre ha estado conmigo; a mis amigas de universidad, quienes fueron mi compañía y ayuda en todo este tiempo, por las noches de estudios y momentos de desestrés, sin dudas, amistades que marcan, Melisa, Valentina, Loreto y Tania; a Hanz y Valeria, por la preocupación y ánimo que siempre me dan; a mis hardcore; a mis amigas UCSC, Jennifer, Natacha, Nathalie y Lorena, quienes estando lejos, me entregaron esa buena dosis de ánimo y aguante, y se mantuvieron presentes en todo momento; a mis amigos de la vida, y a todos aquellos que por alguna razón ya no se encuentran presentes; a Patricio Uarac, mi profesor, por siempre estar dispuesto a ayudar; por último, y no menos importante, a Johanna Castaño, mi profesora guía, por toda la ayuda y ánimo en todo este proceso.

¡Gracias totales!

## ÍNDICE

CAPITULO 1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Justificación y Motivación .....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo General .....	2
1.2.2	Objetivos Específicos .....	2
1.3	Alcances.....	2
1.4	Metodología .....	3
CAPITULO 2	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Tipos de Cauchos.....	6
2.1.1	Caucho Natural .....	6
2.1.2	Caucho Sintético .....	11
2.1.3	Caucho Sintético Reciclado .....	12
2.1.3	Procesado de materiales elastoméricos .....	17
2.2	LEY REP (Responsabilidad Extendida del Productor) .....	17
CAPITULO 3	ETAPAS DE PROCESAMIENTO DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS SINTÉTICOS.....	20
3.1	Formulación y mezclado.....	20
3.2	Masticación .....	22
3.3	Vulcanización.....	23
3.3.1	Vulcanización por azufre/acelerantes.....	27
3.3.2	Vulcanización por Peróxidos.....	29
CAPITULO 4	MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS RECICLADOS...	31
4.1	Regeneración.....	32
4.2	Termólisis .....	33
4.2	Pirolisis.....	34
4.3	Incineración o Coprocesamiento.....	34
4.4	Trituración .....	35
CAPITULO 5	APLICACIONES DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS SINTÉTICOS .....	37
5.1	Cloropreno (Neopreno) .....	37
5.2	Etileno –Propileno – Dieno (EPDM).....	38

## Índice

5.3	Estireno – Butadieno (SBR).....	38
5.4	Nitrilo – Butadieno (NBR).....	39
CAPITULO 6 APLICACIONES DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS RECICLADOS.....		41
6.1	Situación a nivel mundial de uso de NFU .....	41
6.2	Situación en Chile de uso de NFU.....	42
6.3	Aplicaciones de los neumáticos enteros .....	45
6.3.1	Arrecifes artificiales.....	45
6.3.2	Balas de neumáticos .....	46
6.3.3	Macizos de suelo reforzado .....	47
6.4	Aplicaciones de los neumáticos triturados .....	47
6.4.1	Rellenos ligeros.....	47
6.4.2	Pistas de atletismo.....	48
6.4.3	Aislamiento térmico .....	48
6.4.4	Aislamiento acústico.....	49
6.4.5	Pistas multiuso .....	49
6.4.6	Campos de hierba artificial.....	50
6.4.7	Colchonetas para animales.....	50
6.4.8	Pavimentos de seguridad .....	50
6.4.9	Capas drenantes en vertederos .....	51
6.4.10	Sistemas de drenaje en carreteras.....	51
6.4.11	Calzado .....	52
6.4.12	Equipamientos viales y ferroviarios .....	52
6.5	Aplicaciones en materiales bituminosos.....	52
6.6	Valorización energética .....	53
6.6.1	Producción de combustible .....	53
6.6.2	Aprovechamiento energético por gasificación.....	54
6.6.3	Aprovechamiento energético mediante pirolisis .....	55
CAPITULO 7 PROTOTIPO DE CONSTRUCCIÓN DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS.....		56
7.1	Losetas de caucho .....	56
7.2	Propiedades de los pisos de caucho.....	57
7.3	Prototipo .....	57
7.3.1	POLAMBIENTE.....	59

## Índice

7.3.2 MULTICANCHAS.....	60
CAPITULO 8 PRESUPUESTO .....	62
CAPITULO 9 CONCLUSIONES .....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1:</i> Metodología (Fuente: Elaboración Propia) .....	4
<i>Figura 2.1:</i> Caucho Natural (Fuente: Tewan Yangmee) .....	8
<i>Figura 2.2:</i> Estructura del Caucho (Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017) .....	9
<i>Figura 2.3:</i> Polimerización (Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017) .....	11
<i>Figura 2.4:</i> Estructura de un Neumático (Fuente: Tirel, 2017).....	13
<i>Figura 2.5:</i> Neumáticos Fuera de Uso (Fuente: C de Comunicaciones, 2018).....	15
<i>Figura 2.6:</i> Diagrama Valorización de los NFU (Fuente: Elaboración propia) .....	16
<i>Figura 2.7:</i> Ley REP (Fuente: Recycla Chile).....	19
<i>Figura 3.1:</i> Caucho Natural (Fuente: Elaboración propia).....	20
<i>Figura 3.2:</i> Azufre (Fuente: Llórens Minerals) .....	21
<i>Figura 3.3:</i> Sistema de refuerzo (Fuente: elaboración propia) .....	21
<i>Figura 3.4:</i> Molino de Rodillos (Fuente: elaboración propia).....	23
<i>Figura 3.5:</i> Curva de Vulcanización (Fuente: Urrego Yepes, 2014) .....	25
<i>Figura 3.6:</i> Reómetro (Fuente: Elaboración propia) .....	26
<i>Figura 3.7:</i> Posibles estructuras formadas en caucho natural vulcanizado con azufre (Fuente: González Jiménez, 2017) .....	30
<i>Figura 4.1:</i> Proceso de regeneración de un neumático (Fuente: Michelin, 2014) .....	32
<i>Figura 4.2:</i> Proceso de Termólisis (Fuente: Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife, 2006) .....	33
<i>Figura 4.3:</i> Diagrama de flujo de Procesos de la Trituración Criogénica (Fuente: Tirel, 2017) .....	36
<i>Figura 7.1:</i> Dimensiones cancha de Básquetbol (Fuente: educacionfisicaigna.blogspot.com).....	58
<i>Figura 7.2:</i> Piso Tapete (Fuente: POLAMBIENTE S.A).....	59
<i>Figura 7.3:</i> Piso FLEX SPORT 4500 (Fuente: MULTICANCHAS).....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1: Tipos de Elastómeros</i> .....	5
<i>Tabla 5.1: Aplicaciones de materiales elastoméricos sintéticos</i> .....	40
<i>Tabla 6.1: Estimación de la generación de NFU de auto, camioneta, camión y bus año 2017</i> .....	42
<i>Tabla 6.2: Generación de Neumáticos Fuera de Uso (Valores en T)</i> .....	43
<i>Tabla 6.3: Valorización de Neumáticos Fuera de Uso (Valores en T)</i> .....	44
<i>Tabla 8.1: Precios Piso Tapete</i> .....	62
<i>Tabla 8.2: Presupuesto empresa POLAMBIENTE</i> .....	62
<i>Tabla 8.3: Presupuesto 1 empresa MULTICANCHAS</i> .....	63
<i>Tabla 8.4: Presupuesto 2 empresa MULTICANCHAS</i> .....	64

## **CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Justificación y Motivación**

El caucho desempeña un papel fundamental como material en la sociedad actual, estando presente en las nuevas tecnologías para la movilidad, producción y extracción de recursos.

En la actualidad, el consumo mundial de elastómeros es más de 13 millones de toneladas anuales, con un incremento anual entorno al 4%. El consumo global de elastómeros prevé alcanzar los 32 millones de toneladas en 2019. La importancia de la industrial del caucho es aún más clara con datos económicos: En 2011, la demanda de productos elastoméricos fue de 105.5 mil millones de dólares. Aproximadamente el 40% del consumo total de caucho lo ocupa el caucho natural (*NR*, acrónimo del inglés *natural rubber*) mientras que el 60% restante queda repartido entre los diversos cauchos sintéticos existentes. (González Jiménez, 2017)

Dada las propiedades elásticas de este material, su resistencia al impacto, su estabilidad térmica y su aislación acústica, hacen de él un material interesante para la creación de diferentes artículos, tales como neumáticos, cintas transportadoras, sistemas antisísmicos, juntas, amortiguadores, apoyos de puentes, recubrimientos, terminaciones, revestimientos para pisos, rellenos para asfaltos, canchas sintéticas, etc.

En Chile, el uso sustentable del caucho es un desafío. Muchos de ellos son depositados en sitios de disposición de residuos o arrastrados a cursos naturales de agua dulce, considerando que muchos centros de disposición de residuos no cuenta con calificación ambiental o se encuentran en proceso de cierre.

## Capítulo 1: Introducción

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo General

Reconocer las técnicas de procesamiento de materiales elastoméricos y su aplicabilidad en la construcción.

#### 1.2.2 Objetivos Especificos

- Identificar las técnicas de procesamiento y sus principales parámetros de operación.
- Reconocer diferentes aplicaciones de materiales elastoméricos.
- Realizar un prototipo de construcción con materiales elastoméricos y su presupuesto.

### 1.3 Alcances

Esta memoria de título está orientada a identificar los materiales elastoméricos que pueden ser aplicados en la construcción. Debido a que los materiales más utilizados y conocidos en esta área son la madera y el hormigón, el desarrollo y aplicación de nuevos materiales, tales como los elastoméricos ha abierto un mundo de posibilidades para su aplicación en la industria inmobiliaria.

Se trabajará con el caucho sintético virgen y reciclado.

Conociendo más en detalle los materiales elastoméricos, se generará un prototipo de construcción, al cual se le realizará su respectivo presupuesto de fabricación.

## Capítulo 1: Introducción

### 1.4 Metodología

Para el desarrollo de esta memoria de título se comenzará por investigar la bibliografía existente sobre el tema, necesaria para definir cada característica y propiedad de los materiales elastoméricos. Específicamente los temas a estudiar en esta memoria de título son procesamiento, caracterización y aplicabilidad de materiales elastoméricos. Luego de haber recopilado toda la información anteriormente mencionada, se procederá a realizar un análisis de respuesta.

Para cada análisis que se haga en este proyecto de título, se realizará un *feed back* con el profesor guía y el quipo de trabajo, lo cual servirá como retroalimentación y poder tener un mejor desarrollo de esta memoria.

Se realizará una salida a terreno a la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción, la cual consistirá en ver paso a paso cómo se forma el caucho virgen. De esta pasantía en laboratorio, se generará un informe en el cual estará detallado todo lo realizado.

Como última instancia, se generará el prototipo de construcción con su respectivo presupuesto.

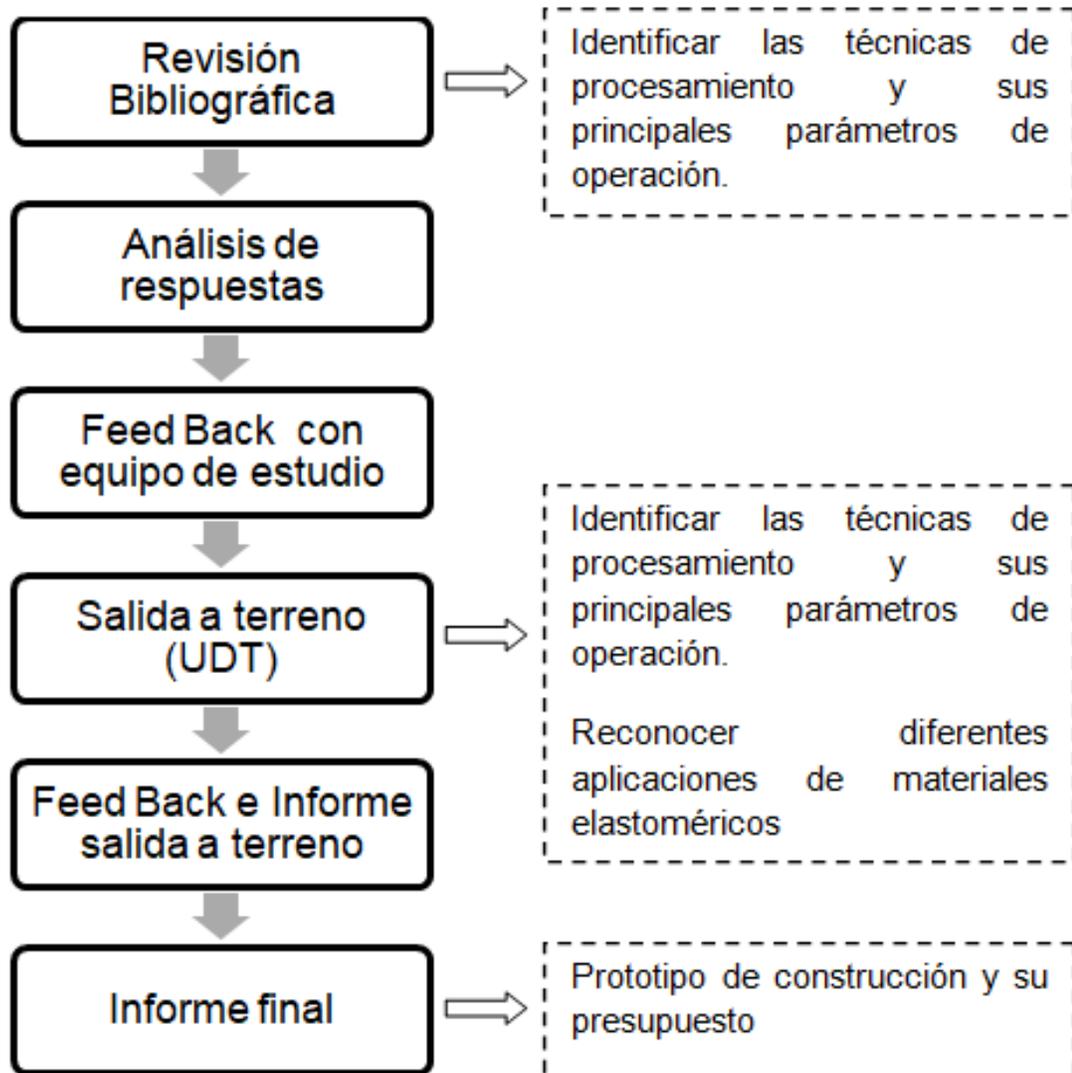


Figura 1.1: Metodología (Fuente: Elaboración Propia)

## CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

Los materiales elastoméricos, conocidos también como cauchos, son materiales orgánicos constituidos por moléculas poliméricas, los cuales destacan por su elevada elasticidad, lo cual es fundamental ya que pueden soportar deformaciones elásticas considerables, y recuperar sus dimensiones originales de manera reversible con el cese de la fuerza. Además, tienen la capacidad para estirarse, desenrollarse y comprimirse.

Existen dos tipos de cauchos: naturales y sintéticos. El caucho natural, proviene de una especie de árbol Hevea, ficus y otras, en tanto, el caucho sintético pasa por un proceso llamado vulcanización, en el cual el material realza su elasticidad por sobre la plasticidad.

*Tabla 2.1: Tipos de Elastómeros*

Elastómeros	
Cauchos naturales	Caucho natural (NR)
	Estireno-butadieno (SBR)
	Polibutadieno (BR)
	Isopreno
	Etileno-propileno (EPM-EPDM)
Cauchos sintéticos	Isobutileno-isopreno (IIR)
	Cauchos de nitrilo (NBR)
	Policloropreno (neopreno)
	Cauchos fluorados (CFM-FKM)
	Cauchos de silicona (Q)
	Butilos

(Elaboración propia, 2018)

## 2.1 Tipos de Cauchos

### 2.1.1 Caucho Natural

El caucho natural es un polímero de isopreno de elevado peso molecular en el que, prácticamente, todos los isoprenos tienen la configuración *cis-1,4*. El polímero natural tiene un grado de polimerización medio en número de alrededor de 5.000 y una amplia distribución de pesos moleculares.

El caucho natural puede obtenerse de casi quinientas especies diferentes de plantas. La fuente más destacada es el árbol *Hevea brasiliensis*, del que procede el nombre de caucho de *Hevea*. El caucho se obtiene de un látex que exuda al cortarse la corteza del árbol *Hevea*. El látex es una dispersión acuosa del caucho que contiene un 25-40% de hidrocarburos de caucho, estabilizada por una pequeña cantidad de material proteínico y ácidos grasos. El látex se acumula, coagula, lava y seca. Se siguen dos procesos diferentes.

Si se añade una pequeña cantidad de bisulfito de sodio para blanquear el caucho, resulta el caucho crepé. El coágulo se lamina en hojas de alrededor de 1 mm de espesor y se seca en aire a unos 50° C. Si deben hacerse hojas ahumadas se suprime el blanqueador y se lamina en hojas algo más gruesas. Estas se secan en cámaras de ahumar a unos 50° C, en humo producido por combustión de madera o cáscaras de coco. (Billmeyer JR, 1975)

A diferencia de los cauchos sintéticos, las propiedades físicas y químicas del caucho natural dependen no sólo de la formulación, de las condiciones de vulcanización y de los procesos de transformación sino que dependen también de los factores geográficos y climáticos del lugar donde estén ubicados los árboles de los cuales se extrae el látex. (Urrego Yepes, 2014)

## Capítulo 2: Marco Teórico

Las propiedades fisicoquímicas de los compuestos de caucho natural están influenciadas por factores generados desde el mismo momento de la extracción del látex del árbol Hevea, factores como por ejemplo la edad del árbol, las condiciones climáticas y del suelo, las cuales imparten propiedades diferentes a cada tipo de caucho natural dependiendo de la localización geográfica del árbol.

Los compuestos de caucho natural pueden elaborarse a partir de dos materias primas diferentes, una materia prima es el látex líquido, que es centrifugado para eliminar impurezas y luego mezclado en suspensión con los diferentes aditivos; el otro tipo de materia prima es el caucho natural seco, en este caso, el látex es tratado con ácido acético, formando coágulos del material. El caucho natural sólido es procesado por medio de un molino de rodillos con el fin de drenar y terminar de secar el material para finalmente formar láminas. (Urrego Yepes, 2014)

El látex contiene 30-36% de caucho en forma de pequeñísimas gotas en suspensión, el que es obtenido en forma sólida por coagulación mediante ácido fórmico ( $\text{HCOOH}$ ) o acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) e un pH de 4,8 a 5,0. El látex es la materia prima del caucho natural, es una suspensión coloidal que además del poli isopreno contiene partículas de suciedad, material volátil, cenizas y lípidos amarillos entre otros, estos últimos pueden ser separados mediante procesos de centrifugado.

Este caucho coagulado se procesa en máquinas provistas de cilindros rotatorios, para obtener así un material laminado denominado “caucho bruto”. Este material es flexible, pero con el tiempo se oxida lentamente y comienza a fragilizarse, por lo que debe ser sometido a otros procesos.

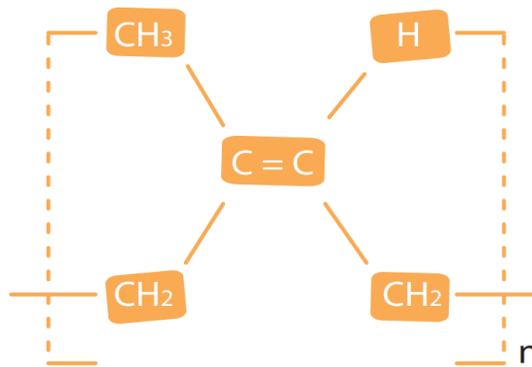


*Figura 2.1: Caucho Natural (Fuente: Tewan Yangmee)*

El caucho natural posee excelentes propiedades mecánicas, como carga de rotura, elasticidad y resistencia al desgarro. Así también, alta resiliencia, excelentes propiedades dinámicas y baja deformación remanente. Otras de las propiedades que este material posee es la buena resistencia a ácidos, bases y sales, a su vez, no es aconsejable su uso en contacto con aceites, grasas o hidrocarburos. No es resistente al oxígeno, ozono y luz UV. Su campo de temperatura oscila entre  $-50^{\circ}\text{C}$  y  $90^{\circ}\text{C}$ . Posee una amplia gama de durezas, desde  $35^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  Shore A. (Trivelli Leandro, 2017)

## Capítulo 2: Marco Teórico

Químicamente, la estructura del caucho se basa en el modelo:



*Figura 2.2:* Estructura del Caucho (Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017)

Entre los polímeros relacionados con el caucho natural podemos encontrar el caucho endurecido, también llamado ebonita, el cual es el producto final de la reacción de caucho con un exceso de azufre, en un sólido duro extensible, llamado ebonita, que contiene alrededor del 32% de azufre combinado. La ebonita se fabricó por primera vez en 1840 y se ha producido en escala comercial desde 1860. Este tipo de caucho puede mecanizarse bien y, con frecuencia, se produce en barras, tubos o placas para este fin. Sus aplicaciones principales dependen de su carácter químico inerte y resistencia a la corrosión y de sus propiedades de aislante eléctrico y térmico. El material se reblandece a unos  $50^{\circ} C$  y no es por ello adecuado para aplicaciones a temperaturas altas.

A su vez, podemos encontrar el caucho clorado, quien es producto entre la reacción del caucho y el cloro. Tradicionalmente se ha llevado a cabo por adición a cloro gas a una disolución de caucho en un disolvente clorado. Para mantener la viscosidad de la disolución baja, el caucho normalmente ha sido

## Capítulo 2: Marco Teórico

masticado de antemano. La cloración se prosigue hasta su terminación, cuando el producto contiene alrededor del 65% de cloro, o aproximadamente 3,5 átomos de cloro por residuo de isopreno. Métodos más modernos para producir caucho clorado implican la clonación directa del látex o el paso de cloro sobre láminas finas de caucho hinchado con un disolvente tal como el tetracloruro de carbono. Este tipo de caucho se utiliza principalmente en la producción de pinturas, barnices y lacas resistentes al calor y los agentes químicos. Pueden fabricarse también películas, soluciones impregnantes y (con la adición de plastificantes) polvos para moldeo.

Otro tipo de polímero es el caucho oxidado. Este caucho puede oxidarse de un modo controlado por masticación en aire en presencia de un catalizador. Diversos grados contienen 0,25 – 1,0 átomos de carbono por residuo de isopreno distribuidos entre grupos de hidroperóxido, ácido, éster, cetona, alcohol y epóxido. Es un material útil para la impregnación de papeles y cartones y para revestimientos protectores. Tiene ventajas respecto al caucho clorado al poder utilizarse la insaturación residual para reacciones de vulcanización o endurecimiento térmico. Los barnices preparados con caucho oxidado poseen excelentes propiedades de aislamiento eléctrico.

El caucho ciclado. Cuando se calienta el caucho lentamente o se trata con reactivos ácidos se hace duro y frágil. Su instauración se reduce, pero su fórmula empírica  $(C_5H_8)_x$  permanece inalterada. Se cree que los cambios son resultados de la condensación de los residuos de isopreno en pares para dar estructuras cíclicas. Los cauchos ciclados se fabrican comercialmente por tratamiento del caucho o bien con ácido sulfúrico o diversos ácidos sulfónicos o cloruros de sulfonilo, o con ácido-estánnico. Los productos son inelásticos. Se utilizan primordialmente como ingredientes de composición para suelas y tacones de zapatos y en adhesivos para uniones de caucho a metal.

## Capítulo 2: Marco Teórico

La Guttapercha y balata son dos resinas o gomas naturales provienen de árboles indígenas de Malaya y Centroamérica, respectivamente. Ambas son formas impuras de trans-poliisopreno. El polímero de hidrocarburo purificado es útil para recubrir cables, para tejidos con fines adhesivos y quirúrgicos, y la piel externa de pelotas de golf. (Billmeyer JR, 1975)

### 2.1.2 Caucho Sintético

Los cauchos sintéticos, técnicamente conocidos como elastómeros y que en el comercio tienen diversos nombres de fantasía, se utilizan como sustitutos del caucho natural debido a su excelente resistencia química a los ácidos, aceites minerales, gases y otras sustancias. Son también más estables, a temperaturas elevadas, que el caucho natural.

Se obtienen por polimerización de diolefinas derivadas del petróleo, las cuales han sufrido un tratamiento previo de emulsionamiento y coagulación. Por ejemplo, el “neopreno”, es un caucho sintético obtenido por polimerización del cloropreno (2-cloro-1,3 butadieno). (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017)

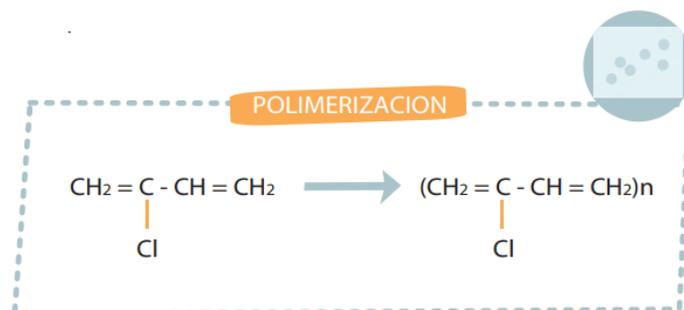


Figura 2.3: Polimerización (Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017)

## Capítulo 2: Marco Teórico

Este producto, junto a otros como el polietileno clorosulfonado, se utiliza industrialmente en revestimiento de cables eléctricos, mangueras, rodillos, telas impermeables, revestimientos de estanque, adhesivos y piezas moldeadas. Su resistencia térmica permite usos entre 68°C y 150°C.

También existen tipos de copolímeros de neopreno en los cuales predomina el cloropreno. Para vulcanizar algunos tipos de neopreno se utiliza el azufre, pero en la mayor parte de ellos se emplean óxidos de magnesio o de zinc.

En lo demás, la composición y los tratamientos técnicos, e incluso los equipos, son similares a los empleados para el caucho natural. (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017)

Dentro del caucho sintético encontramos cauchos con aplicaciones similares, como lo son el poliisopreno sintético (IR), el caucho de polibutadieno (BR) y el caucho de poli (estireno-butadieno) (SBR). Por otro lado, se encuentran los cauchos sintéticos para usos especiales, que poseen alguna propiedad específica que los hacen adecuados para una aplicación en concreto. En este último grupo se encuentran los cauchos resistentes a la intemperie y al envejecimiento como el caucho etileno-propileno (EPM y EPDM), los cauchos resistentes a disolventes, como el caucho nitrílico (NBR) o caucho de policlopreno (CR) y los cauchos resistentes a la temperatura (siliconas y cauchos fluorados). (González Jiménez, 2017)

### 2.1.3 Caucho Sintético Reciclado

Los neumáticos son estructuras toroidales complejas. De entre las partes principales de los neumáticos podemos distinguir:

- Banda de rodadura: es la superficie de apoyo del neumático, formada por una capa de goma marcada por los dibujos o surcos.

## Capítulo 2: Marco Teórico

- Flancos o laterales: ofrecen elasticidad, absorbiendo irregularidades de la carretera. Protegen la carcasa de golpes y roces.
- Carcasa: formada por varias capas de textiles y otros compuestos forman el armazón del neumático. En función del armazón y tipo de estructura, los neumáticos serán radiales o diagonales (pocos usados en la actualidad).
- Talón: formado por 2 aros de alambres trenzados forrados en caucho y que serán los responsables de unir el neumático a la llanta.

Dependiendo del uso, varían en tamaño y diseño. Sin embargo, la composición para distintos fabricantes es muy similar, compuestos básicamente por cauchos naturales y sintéticos (polisoprenos de síntesis, copolímeros de butadieno-estireno, polibutadieno, caucho butilo), cargas reforzantes (negro de carbono y sílices), antioxidantes, materiales metálicos, textiles y otros ingredientes necesarios para el proceso de vulcanización del caucho.



Figura 2.4: Estructura de un Neumático (Fuente: Tirel, 2017)

## Capítulo 2: Marco Teórico

Estos materiales se disponen en el neumático de forma desigual; el caucho predomina en la banda de rodadura y en los flancos laterales, la fracción metálica se encuentra en forma de aros estructurales en la zona de contacto con la llanta, en forma de alambres metálicos aportando consistencia y estructura, junto a las fibras textiles de la carcasa. (Sánchez Juan, 2012)

Uno de los residuos que más caracterizan a las sociedades desarrolladas modernas, tan dependientes del automóvil, son los neumáticos fuera de uso.

Generalmente, los neumáticos tienen una vida útil de 50.000 km (equivalente a unos 5 años) aunque depende del mantenimiento del vehículo y del estado de las rutas por las que transita. Los fabricantes de neumáticos han realizado esfuerzos logrando extender la vida útil a más de 100.000 km en algunos casos. (Sánchez Juan, 2012)

La generación de residuos de caucho se ha convertido en una preocupación global por su impacto negativo en el medio ambiente. Aunque es un residuo no peligroso, presenta una alta capacidad calorífica –que dificulta su extinción en caso de incendios- y no es degradable.

Los neumáticos usados, en un principio, no generan peligro inmediato, pero al eliminarlos de manera inapropiada o producirlos en grandes cantidades, puede provocar una contaminación grave en el medio ambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos. No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras –son resistentes al ozono, la luz y las baterías- lo que los hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Su almacenamiento en un vertedero no permite recuperar ni energía ni materia.

Los neumáticos enteros son flexibles y por su forma y tamaño limitan la rehabilitación del vertedero al ser difícilmente compactables, además, son

## Capítulo 2: Marco Teórico

refugio ideal de insectos y roedores, y acumulan gases y lixiviados, frecuentes en los basureros.

La fabricación de neumáticos es un proceso complejo que engloba el consumo de materias primas procedentes de fuentes no renovables, caucho sintético, acero, agua y que requiere elevadas cantidades de energía en su fabricación. En el proceso productivo se producen elevadas cantidades de emisiones y se requiere de fuertes inversiones en medidas preventivas y correctoras. (Sánchez Juan, 2012)



*Figura 2.5: Neumáticos Fuera de Uso (Fuente: C de Comunicaciones, 2018)*



Figura 2.6: Diagrama Valorización de los NFU (Fuente: Elaboración propia)

Una vez que han llegado al final de su vida útil, los neumáticos pueden seguir tres vías principales: reutilización, valorización material y valorización energética.

La reutilización se realiza mediante el recauchutado, si los neumáticos están todavía en buen estado, revistiéndose de una nueva superficie de rodadura; la valorización material, donde se distinguen dos tipos, la valorización de los materiales del neumático tras un proceso de separación de los mismos y la valorización material del neumático sin separación de los materiales, empleado en usos de obra civil. Entre los materiales que se valorizan de esta forma se encuentran: negro de carbono, polvo de neumático, granulado de neumático y el propio neumático entero; valorización energética, donde se aprovecha el poder calorífico del neumático a través de su uso como combustibles de sustitución en procesos industriales, normalmente en las cementeras y en otras unidades de incineración, calderas industriales y centrales térmicas, siempre que se respeten las disposiciones para la protección ambiental.

### **2.1.3 Procesado de materiales elastoméricos**

El procesado de elastómeros incluye la preparación de mezclas, su transformación y posterior vulcanización.

La mezcla debe tener incorporados todos los componentes necesarios, convenientemente distribuidos y dispersos para vulcanizarla, reforzarla, protegerla de forma eficaz y fabricar el artículo con las propiedades necesarias para la aplicación deseada. El mezclado se lleva a cabo, de forma general, en un mezclador de cilindros (abierto) o en un mezclador interno (cerrado) siendo este último un proceso discontinuo. (González Jiménez, 2017)

## **2.2 LEY REP (Responsabilidad Extendida del Productor)**

Desde hace algunos años el gobierno de Chile ha tenido interés en generar una ley que regule los residuos, es por esto que el 17 de mayo de 2016 se promulgó la Ley Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al reciclaje (Ley N° 20.920). Esta ley busca disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valoración, con la finalidad de proteger a la salud de las personas y el medio ambiente.

Así también, la ley introduce en Chile el sistema de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), el cual es un instrumento de gestión de residuos, en que los productores o importadores de “productos prioritarios”, tienen la obligación de organizar y financiar la gestión de residuos originados por esos productos.

## Capítulo 2: Marco Teórico

Se definen como productos prioritarios a aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, envases y embalajes, neumáticos, pilas, baterías, diarios y revistas.

De esta manera, la normativa promueve un modelo de desarrollo en que los residuos pasan a ser un recurso de valor, ya que se incorporan nuevamente a la cadena de producción como materia prima o energía, así nada se desperdicia. Con lo anterior, también fomenta nuevas oportunidades de emprendimiento y empleos verdes.

Chile es el primer país sudamericano que implementa este instrumento, que comenzó a operar en Europa en los años 90, permitiendo avanzar hacia una economía circular.

Las obligaciones de los productores son:

- Registrarse en un catastro público de empresarios y/o fabricantes.
- Organizar y financiar la recolección y tratamiento de los productos recolectados a través de los sistemas de gestión, cuyo objetivo será la recuperación de residuos. Estos podrán ser individuales –correspondiente a un solo productor- o bien colectivos, conformados por varios productores organizados a través de una persona jurídica sin fines de lucro. La ley contempla reglas de funcionamiento para estos sistemas colectivos, con el fin de evitar que se afecte la libre competencia.
- Asegurar que el tratamiento de esos residuos se realice por personas autorizadas.
- Cumplir las metas de recolección y de valorización de los productos.  
(Ambiente)

La Ley REP para los residuos neumáticos nos dice lo siguiente: “Los residuos de neumáticos se clasifican como residuos no peligrosos. Sin embargo, existen potenciales impactos al medio ambiente y riesgos a la salud por su gestión

## Capítulo 2: Marco Teórico

inadecuada. El neumático usado se puede reciclar o utilizar como combustible alternativo en hornos de cemento. El principal problema de los neumáticos al manejarlos de manera inadecuada es:

- Proliferación de vectores como mosquitos y roedores debido al estancamiento de las aguas y la inaccesibilidad de zonas de almacenamiento (se recomienda perforar las llantas antes de almacenarlas a la intemperie).
- Deterioro del entorno y del paisaje cuando se botan en sitios eriazos o en los bordes de la carretera.
- Al botarlos en el campo atraen la disposición de otros tipos de residuos, formándose basurales clandestinos.
- Riesgos de derrumbe cuando se apilan gran cantidad de llantas de manera inadecuada.
- Riesgo de incendios incontrolables en lugares donde se apilan gran cantidad de llantas sin la apropiada distribución y medidas de control mínimas.”

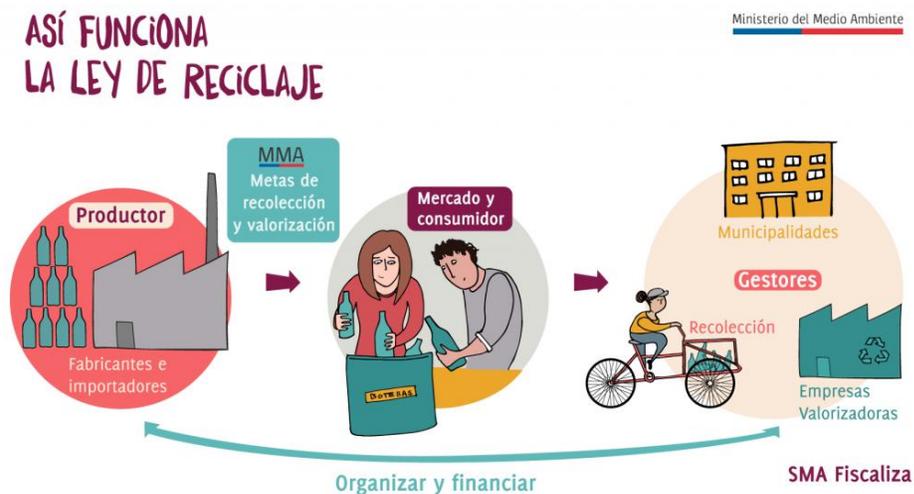


Figura 2.7: Ley REP (Fuente: Recycla Chile)

## CAPITULO 3 ETAPAS DE PROCESAMIENTO DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS SINTÉTICOS

### 3.1 Formulación y mezclado

La composición de un compuesto de caucho se basa en una formulación o receta específica; la composición aceptada en la industria del caucho es que el material elastomérico es tomado como 100 partes de caucho o phr (*parts per hundred of rubber*), esto significa que el total de uno, dos, tres o más cauchos diferentes para una formulación específica deben ser definida como 100. Entonces, todos los otros ingredientes diferentes a los compuestos elastoméricos son relacionados contra estas 100 partes. (Urrego Yepes, 2014)

Los materiales empleados para la formulación de una mezcla de caucho natural se pueden dividir de manera general en 4 grupos:

- Polímero: Caucho natural



Figura 3.1: Caucho Natural (Fuente: Elaboración propia)

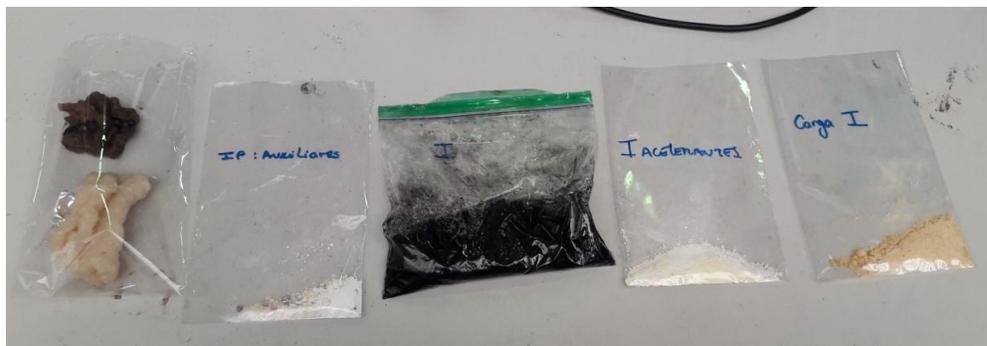
### Capítulo 3: Etapas de procesamiento de materiales elastoméricos sintéticos

- Sistema de vulcanización: Azufre, acelerantes, activadores



*Figura 3.2: Azufre (Fuente: Llórens Minerals)*

- Sistema de rellenos y/o refuerzo: Negro de humo, arcillas, sílices, carbonato de calcio



*Figura 3.3: Sistema de refuerzo (Fuente: elaboración propia)*

- Otros aditivos: Antioxidantes, antiozonantes, ceras y componentes secundarios tales como pigmentos (colorantes), aceites, resinas y otros aditivos de procesamiento.

### 3.2 Masticación

Hancock descubrió en 1824 que el caucho se convierte en una masa blanda y gomosa cuando se somete a un trabajo mecánico intenso. Este proceso se conoce como masticación. La adición de ingredientes en el mezclado ulterior se facilita grandemente por este tratamiento, que habitualmente se realiza en trituradoras de cilindros o en mezcladoras internas o plastificadoras (similares a las extrusoras). La masticación va acompañada de una marcada disminución de peso molecular del caucho. La degradación por oxidación es un factor importante en la masticación, pues la disminución de la viscosidad y otros cambios de propiedades no se producen, si el caucho se mastica en ausencia del oxígeno.

Una vez que se ha completado la masticación, se añaden los ingredientes de composición y el caucho mezclado queda listo para la vulcanización. (Billmeyer JR, 1975)

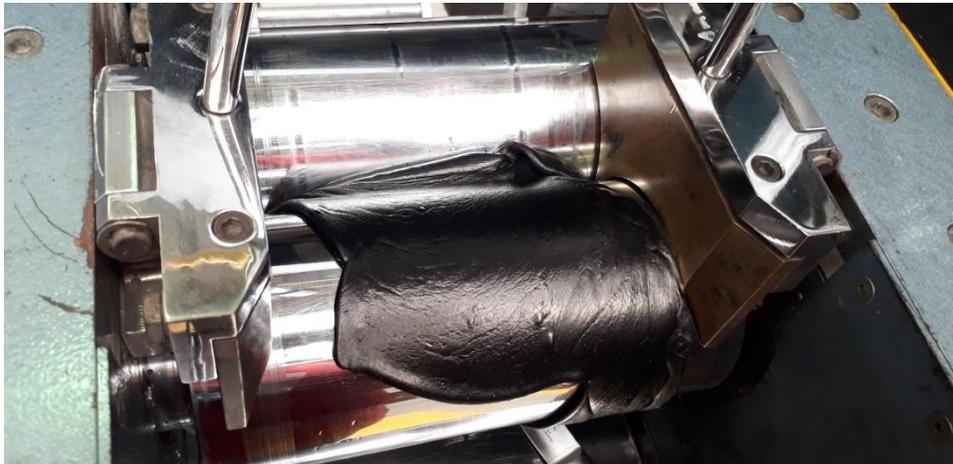
Siendo el caucho natural un polímero duro, de alto peso molecular, resistente a temperatura ambiente, tiene pocas aplicaciones sin masticar y su aplicación máxima es transformarlo en un cuerpo elástico a través del proceso de vulcanización, para lo cual es imprescindible mezclarlo con los ingredientes apropiados, siendo la masticación, suficiente, para permitir la correcta dispersión de los mismos.

Este proceso, produce en el caucho la reducción del peso molecular, como consecuencia de la rotura de las moléculas lineales que lo forman. Es el resultado de tres acciones: la acción mecánica que se ejerce sobre él al pasarlo

### Capítulo 3: Etapas de procesamiento de materiales elastoméricos sintéticos

entre rodillos de acero y entre las palas de un mezclador interno, el calor que esta acción mecánica desarrolla y la acción del oxígeno, que aún en muy pequeña cantidad, provoca la rotura de gran cantidad de moléculas poliméricas.

Mediante molinos de rodillos, el caucho se flexibiliza aún más. Luego se mezcla, en otras máquinas “amasadoras”, con sustancias tales como óxido de cinc ( $ZnO$ ), ácido esteárico, antioxidantes, azufre, pigmentos y plastificantes, los que se incorporan al caucho original; un alto contenido de azufre produce cauchos de tipo rudo y poco flexible. (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2017)



*Figura 3.4: Molino de Rodillos (Fuente: elaboración propia)*

### 3.3 Vulcanización

La vulcanización es un proceso por el cual el caucho crudo, con comportamiento plástico, es transformado en un caucho altamente elástico, mediante la creación de uniones físicas o químicas entre las cadenas

### Capítulo 3: Etapas de procesamiento de materiales elastoméricos sintéticos

macromoleculares para la formación de una red tridimensional. Es un proceso irreversible y se produce a alta temperatura y presión.

La reacción de vulcanización puede ser controlada y/o monitoreada a partir de una reometría de vulcanización, esta técnica permite evaluar el avance de la reacción en función del tiempo, la técnica mide la respuesta del torque generado en un proceso isotérmico como respuesta al avance de la formación de puentes de entrecruzamiento elásticamente activos entre las cadenas del polímero, el tiempo que transcurre hasta alcanzar un valor máximo de torque es conocido como el tiempo óptimo o necesario para alcanzar un 100% de entrecruzamiento ( $t_{100}$ ). La técnica permite medir además el tiempo de pre-vulcanización o de inducción conocido comúnmente como el tiempo *Scorch*, este tiempo depende de la temperatura a la cual se lleve a cabo el proceso de vulcanización, la cual influye directamente en la estabilidad de los acelerantes y en la energía de activación.

La reometría de vulcanización permite conocer los tiempos y torques generados antes, durante y después de la formación de los entrecruzamientos. Este final de reacción puede verse reflejado en la estabilización del torque, en el aumento del torque (curva marchante) o en la disminución del torque después de haber alcanzado su máximo valor, fenómeno conocido como reversión y que está directamente relacionado con la desulfurización de los compuestos. (Urrego Yepes, 2014)

La reacción de vulcanización se sigue a través de la curva de vulcanización obtenida a partir de los valores de la componente elástica del par de fuerzas,  $S'$ , en función del tiempo a una temperatura, amplitud y frecuencia determinadas en un reómetro de disco oscilante. La curva típica de la vulcanización de un elastómero se divide en diferentes regiones, como puede apreciarse en la siguiente figura

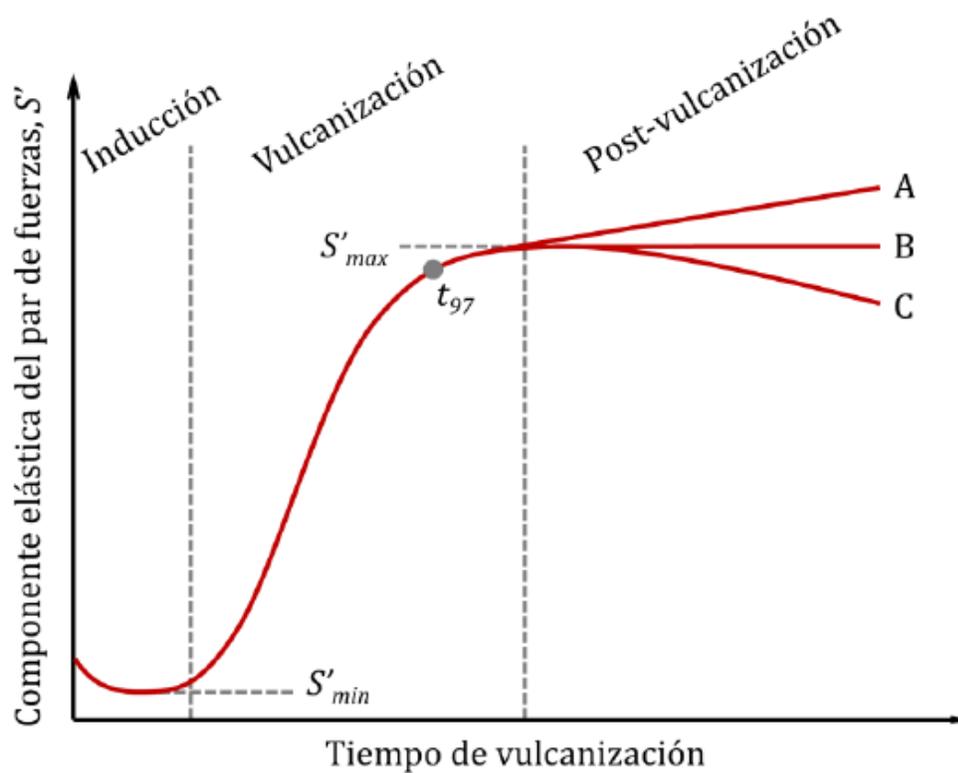


Figura 3.5: Curva de Vulcanización (Fuente: Urrego Yepes, 2014)

La primera parte de la curva se denomina región de inducción o prevulcanización. En la siguiente etapa, denominada vulcanización, la componente elástica del par de fuerzas ( $S'$ ) aumenta a medida que transcurre el tiempo de vulcanización. A su vez, se producen los entrecruzamientos que van a formar la red. La pendiente de la curva en esta región indica la velocidad de vulcanización, presentando mayor velocidad de vulcanización cuanto mayor sea la pendiente. Una vez producida la vulcanización. Si  $S'$  continúa aumentando, la reacción de vulcanización no ha llegado al equilibrio, como muestra la figura 7, caso A. Si  $S'$  se mantiene constante, como lo es el caso B, se llega a un “plateau” y durante ese tiempo se mantienen las propiedades del vulcanizado. Y, por último, si  $S'$  disminuye a medida que transcurre el tiempo de

### Capítulo 3: Etapas de procesamiento de materiales elastoméricos sintéticos

vulcanización, como en el caso C, se produce la degradación del material, con pérdida de propiedades, lo que se denomina reversión. (González Jiménez, 2017)



*Figura 3.6: Reómetro (Fuente: Elaboración propia)*

### 3.3.1 Vulcanización por azufre/acelerantes

Charles Goodyear en 1839 descubre la vulcanización por azufre, y aunque ha existido un gran desarrollo científico desde entonces en el ámbito de los cauchos, el azufre continúa siendo el agente vulcanizante por excelencia en cauchos insaturados, sin embargo, la reacción entre el caucho y el azufre, sin ningún otro aditivo, es muy lenta.

Como consecuencia, se introdujeron los acelerantes de vulcanización, los cuales, son compuesto que, añadidos en pequeñas cantidades, reducen notablemente el tiempo de reacción entre las cadenas de elastómero y el azufre. Estos acelerantes, se utilizan en combinación con activadores de la vulcanización, para así, poder ejercer completo su efecto, siendo los más importantes el óxido de zinc y ácido esteárico. Además, la adición de acelerantes permite disminuir la cantidad de azufre empleado, evitando las eflorescencias del azufre.

Inicialmente, la vulcanización de cauchos aditivados sólo con azufre a una concentración cercana de 8 phr requiere cerca de 5 horas a 140°C, la adición del óxido de zinc redujo el tiempo a 3 horas. El uso de agentes acelerantes en concentraciones incluso por debajo de 0.5 phr permite reducir el tiempo de vulcanización a un tiempo entre 1 y 3 minutos. Existen acelerantes primarios y secundarios; los acelerantes primarios son los encargados de incrementar la velocidad de reacción a la cual vulcanizan los cauchos, algunos ejemplos de estos acelerantes primarios incluyen tiazoles y sulfonamidas; en muchos casos el uso de acelerantes primarios se acompaña con acelerantes secundarios los cuales aumentan la velocidad de vulcanización con azufre, ejemplos de estos acelerantes incluyen ditiocarbamato y tiuram. Las estructuras químicas de los acelerantes empleados comúnmente en el proceso de vulcanización de cauchos son diferentes, sin embargo las características básicas son similares, el acelerante está compuesto por uno o dos átomos de azufre entre un par de

### Capítulo 3: Etapas de procesamiento de materiales elastoméricos sintéticos

grupos terminales orgánicos. Estructuralmente los acelerantes tienen una funcionalidad común, N=C-S. (Urrego Yepes, 2014)

El proceso que se produce durante la vulcanización puede dividirse en tres etapas:

- La química de los acelerantes: donde se forman diferentes reacciones entre el azufre, acelerantes y activadores para formar un complejo activo.
- La química de entrecruzamiento: reacciones entre el complejo activo y las cadenas elastoméricas que conducen a la formación de los entrecruzamientos.
- La química post-vulcanización: reacciones que generan el acortamiento de la longitud de los entrecruzamientos polisulfuro generados entre las cadenas elastoméricas, la ruptura de entrecruzamientos y/o la degradación del polímero en el caso de que exista reversión.

Mediante este tipo de vulcanización se generan enlaces mono- di y poli-sulfuros entre las cadenas elastoméricas dependiendo de la proporción de azufre/acelerantes, que generalmente se encuentra entre 0.2 y 12. Los sistemas de vulcanización con una alta relación azufre/acelerantes, denominados sistemas convencionales, generan principalmente enlaces polisulfuros (-C-S<sub>x</sub>-C-) entre las cadenas. Por otra parte, existen los denominados sistemas eficientes, basados en un menor contenido de azufre y una elevada proporción de acelerantes. Estos sistemas proporcionan entrecruzamientos más cortos (aproximadamente el 80% de los entrecruzamientos son monosulfuros -C-S-C-), mejorando así la resistencia térmica y oxidativa de los compuestos finales, debido a la mejor estabilidad térmica de los mismos. Los sistemas semi-eficientes son intermedios entre los convencionales y eficientes, utilizándose bajas proporciones de azufre y altas de acelerantes o donadores de azufre. Los enlaces creados son de tipo monosulfuro (~ 50%), así como poli- y di-sulfuros (~ 50%). (González Jiménez, 2017)

### 3.3.2 Vulcanización por Peróxidos

Aunque la utilización del azufre como vulcanizante es amplia, existen cauchos, como los saturados, que no pueden ser entrecruzados por azufre y acelerantes. Estos no poseen dobles enlaces en su estructura. Para este tipo de cauchos, se desarrolló la vulcanización a través de peróxidos, entrecruzándose por primera vez caucho natural con peróxido de benzoílo en 1915. La vulcanización a través de peróxidos (generalmente peróxidos orgánicos) es una reacción radical que genera enlaces de tipo carbono-carbono entre las cadenas elastoméricas. Este tipo de entrecruzamiento puede realizarse tanto en cauchos insaturados, como por ejemplo el NR, SBR o EPDM, como en cauchos saturados como el EPM, siliconas, etc.

La vulcanización por peróxidos en elastómeros derivados de isopreno y butadieno poseen propiedades inferiores que los vulcanizados con azufre y acelerantes. Pese a ello, se recurre a la utilización de peróxidos cuando se requieren aplicaciones a altas temperaturas y con menor influencia. Los artículos entrecruzados con peróxidos suelen presentar altos módulos y dureza, baja deformación remanente por compresión tanto a bajas como a altas temperaturas, así como una mejor respuesta al envejecimiento por calor y a la oxidación. Eso debido a la termo-estabilidad de los enlaces C-C, en contraposición con los enlaces C-S o S-S, que presentan una menor energía de enlace. Por el contrario, en cuanto a propiedades de tensión, los compuestos vulcanizados con peróxidos poseen bajas cargas de rotura, resistencia al desgarre y a la abrasión, así como una curva de vulcanización con tiempos de inducción y velocidad de vulcanización invariables.

Si bien los principales mecanismos de entrecruzamiento covalente en elastómeros son a través de azufre y acelerantes o peróxidos orgánicos, también existe la posibilidad de crear enlaces covalentes a través de la

aplicación de radiación, o a través del empleo de azidas orgánicas. (González Jiménez, 2017)

En la siguiente imagen, se esquematizan las posibles estructuras formadas durante la reacción de vulcanización de caucho natural con azufre, los puentes mono, di y polisulfídicos son los puentes elásticamente activos, mientras que los grupos colgantes y cíclicos no aportan a la elasticidad del compuesto.

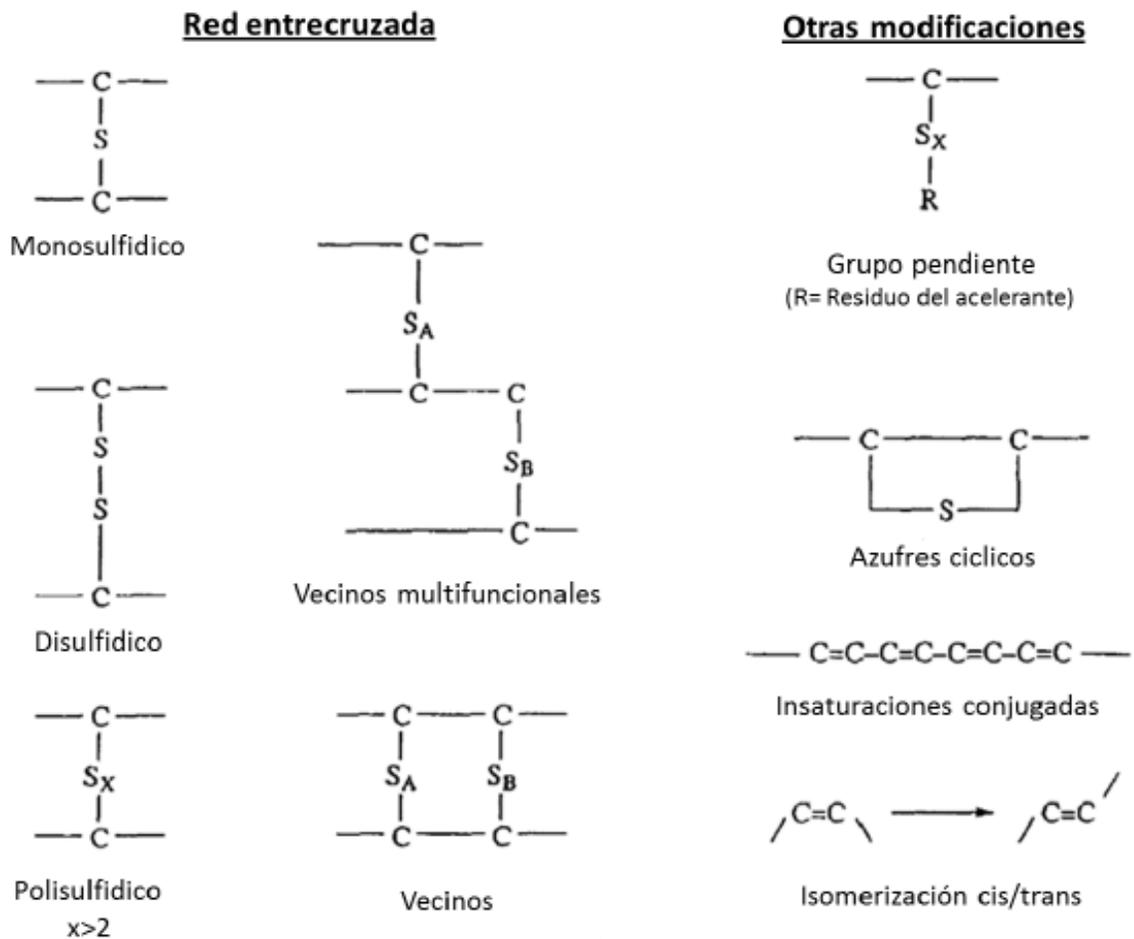


Figura 3.7: Posibles estructuras formadas en caucho natural vulcanizado con azufre (Fuente: González Jiménez, 2017)

## **CAPITULO 4 MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS RECICLADOS**

La fabricación de neumáticos es masiva, por lo que hacerlos desaparecer una vez usados, se dificulta cada vez más. Esto constituye uno de los problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado, y a la vez, provoca contaminación ambiental, al formar parte de vertederos incontrolados.

La manera de eliminar este tipo de residuos es a través de la quema directa, la cual provoca graves problemas medioambientales ya que produce emisiones de gases que contienen partículas nocivas para el entorno. El almacenamiento no es menos problemático, ya que provocan problemas de estabilidad por la degradación química parcial que estos sufren y producen problemas de seguridad en el vertedero.

Las montañas de neumáticos forman arrecifes donde la proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos constituye un problema añadido. La reproducción de ciertos mosquitos, que transmiten por picadura fiebre y encefalitis, llega a ser 4.000 veces mayor en el agua estancada de un neumático que en la naturaleza. (Castro, 2007)

Para el reciclaje de neumáticos fuera de uso existen varios métodos y tecnologías de transformación. En este capítulo se darán a conocer cada una de las alternativas existentes.

## 4.1 Regeneración

Este método se basa en romper las cadenas que forman el material para obtener una materia prima que, aunque dista mucho de la original, podría volver a vulcanizarse y fabricar de nuevo el caucho. El caucho regenerado, en teoría, podría ser utilizado en la fabricación de neumáticos, pero cada día las mezclas utilizadas en la fabricación de los neumáticos, a los que se exigen altísimas prestaciones, tiene que cumplir con unas especificaciones tan estrictas que hacen difícil, por el momento, la utilización generalizada de caucho regenerado. En cualquier caso puede aplicarse a la fabricación de otros productos de caucho, o cubiertas macizas para otro tipo de vehículos. (Castro, 2007)

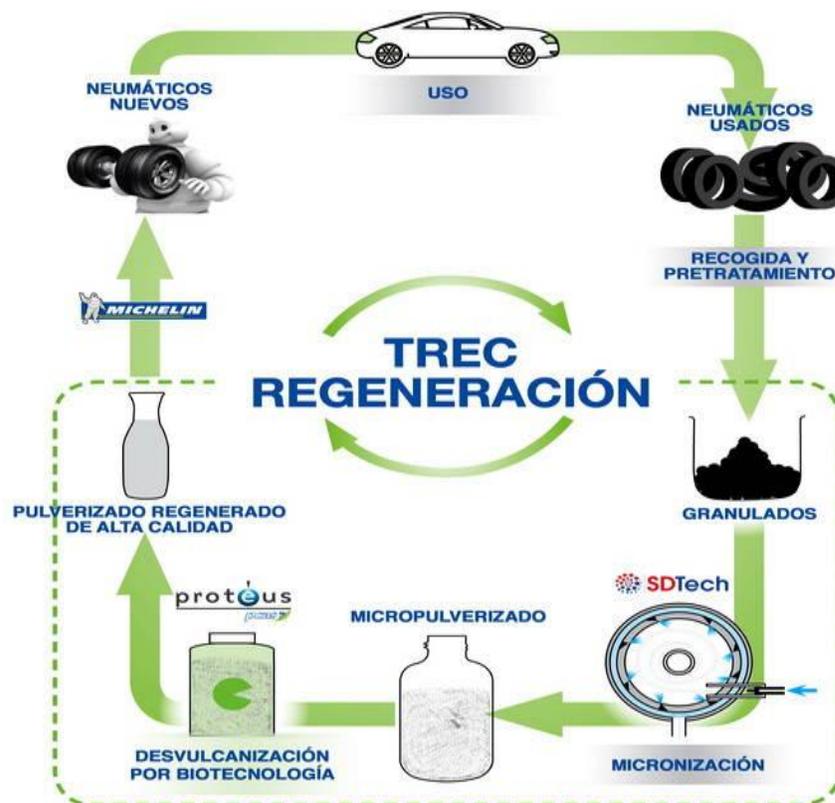


Figura 4.1: Proceso de regeneración de un neumático (Fuente: Michelin, 2014)

## 4.2 Termólisis

Este método consiste en someter el neumático en forma de gránulo (previamente triturada) a un calentamiento en un medio carente de oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de romper los enlaces químicos dando lugar a la aparición de cadenas de hidrocarburos. De este modo, pueden obtenerse, nuevamente, los compuestos originales del neumático, por lo cual, a través de este sistema se consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u otras actividades.

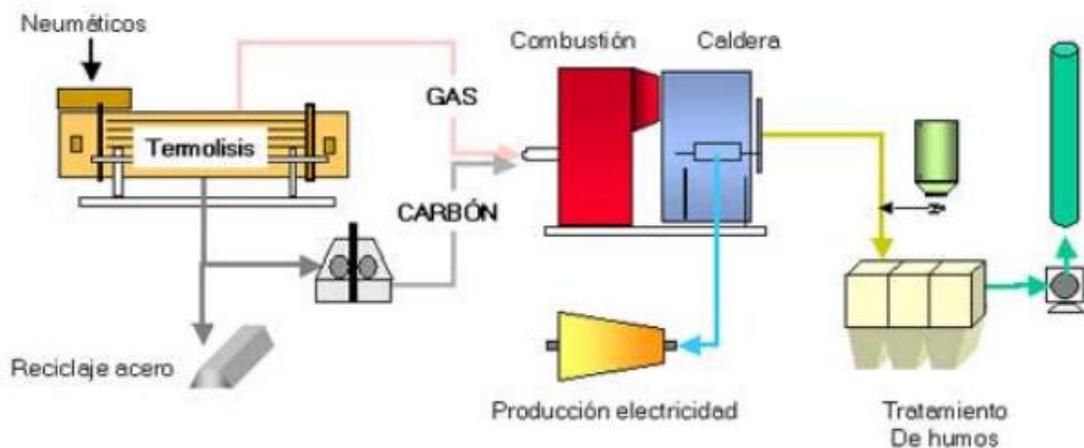


Figura 4.2: Proceso de Termólisis (Fuente: Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife, 2006)

## 4.2 Pirolisis

Este método involucra la degradación térmica del material en ausencia de oxígeno en hornos con temperaturas que van desde los 600 a los 800 °C. Algunos productos generados en este proceso son oleofinas (alquenos), cera y hollín.

- Pirolisis a baja temperatura:

Este tipo de pirolisis, descompone los residuos de polietileno en aceites de bajo punto de fusión utilizando cera de polietileno a una temperatura de 400°C.

- Pirolisis de alta temperatura:

Las llantas usadas y trituradas son introducidas a un reactor de arena de cuarzo a una temperatura entre los 630 °C y los 887 °C.

## 4.3 Incineración o Coprocesamiento

Este método se puede definir como el procesamiento térmico de residuos mediante oxidación química con cantidades estequiometrias o en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen gases caliente de combustión, compuestos principalmente de nitrógeno, dióxido de carbono, vapor de agua y rechazos no combustibles.

A la incineración de llantas se le denomina también Coprocesamiento debido a que se realiza mediante la utilización de los hornos cementeros, en donde el poder calorífico del neumático se aprovecha para producir energía y en la incorporación del acero en el clínker obtenido, controlando debidamente las emisiones atmosféricas. En este proceso se utiliza como combustible derivado de los neumáticos, debido a que los neumáticos actúan como combustible auxiliar para los hornos cementeros, en donde debido a las altas temperaturas en las que opera el horno, se realiza una combustión completa de las llantas y

el acero de las mismas se convierte en óxido de hierro, proporcionando hierro adicional al cemento.

En este proceso se pueden usar los neumáticos de forma completa o previamente triturados, se reduce la producción de NO<sub>x</sub> y de otras emisiones atmosféricas en comparación con el uso del carbón debido al menor contenido de nitrógeno y azufre en el CDL, y se tiene un valor calorífico mayor al del carbón y menor contenido de agua (un neumático equivale a 9 kg de carbón). (Zárate, 2014)

La incineración de neumáticos tiene la ventaja de ser un proceso de generación de energía con grandes posibilidades de aprovechamiento, sin embargo se debe contar con hornos de gran calidad y alto costo, que realicen la operación con gran eficiencia y con un sistema de tratamiento de gases que asegure la captura de las emisiones generadas ya que algunos son tóxicos.

### **4.4 Trituración**

Este método se puede dar por dos procesos, mecánico o criogénico. Convierte los residuos de los neumáticos en un material molido o en partículas, lo más homogéneo posible. El proceso de trituración es necesario antes de que se den lugar los siguientes pasos del proceso tanto para obtener nuevos materiales como combustibles secundarios.

Trituración mecánica: consiste en romper el neumático mecánicamente, en partículas pequeñas. Emplea diversos tipos de cuchillas para conseguir el gránulo de caucho reciclado (GCR) de diferentes tamaños, lo cual depende de las etapas a las que se haya sometido el neumático. Durante este proceso se puede recuperar el acero y los textiles que conforman el neumático. La eficacia de la separación de los componentes depende del grado de molienda. El acero resultante es retirado por medio de un separador magnético y las fibras textiles

## Capítulo 4: Métodos de procesamiento de materiales elastoméricos reciclados

por clasificadores neumáticos. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo de los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos neumáticos.

Este proceso es enteramente mecánico, lo cual no genera grandes cantidades de emisiones atmosféricas en comparación de los procesos mencionados anteriormente, sólo las que generas las máquinas empleadas.

Trituración criogénica: en este proceso, se utilizan los neumáticos usados enteros y consiste en congelarlos con nitrógeno líquido y golpearlos para que liberen la estructura metálica o textil del caucho.

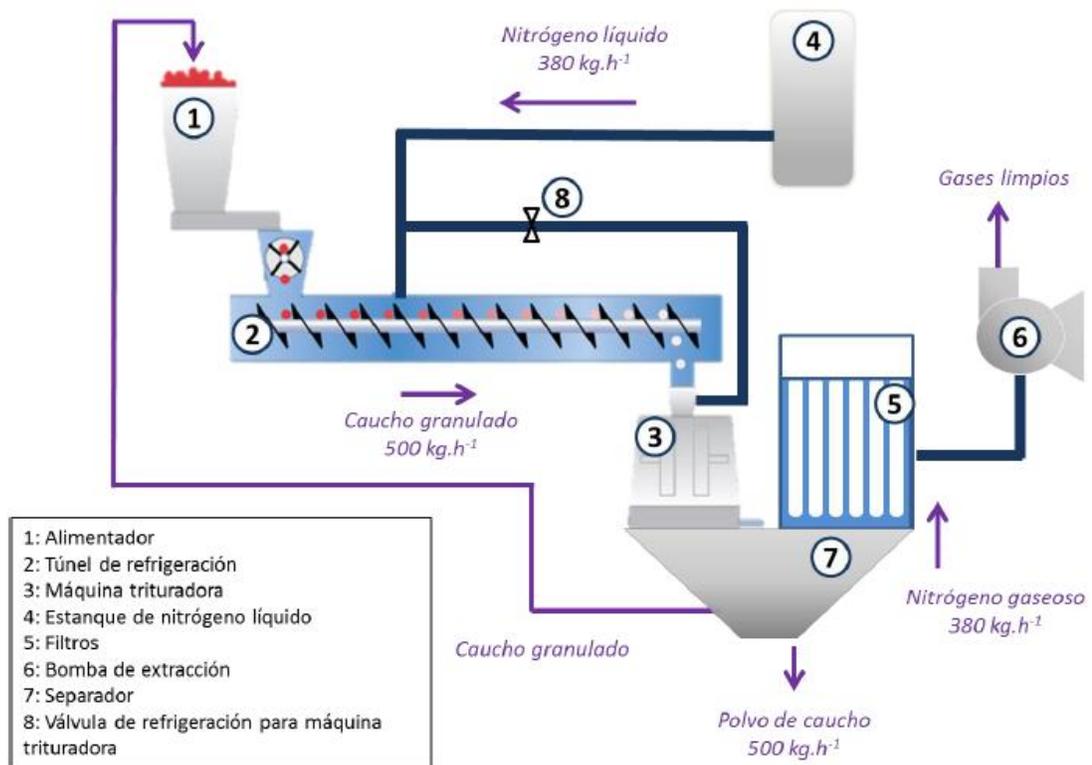


Figura 4.3: Diagrama de flujo de Procesos de la Trituración Criogénica (Fuente: Tirel, 2017)

## **CAPITULO 5 APLICACIONES DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS SINTÉTICOS**

La búsqueda de productos sintéticos comenzó en la primera guerra mundial, siendo Alemania pionera en la investigación. Dado que son derivados del petróleo se incluyen dentro de la petroquímica. Algunos de estos productos son:

### **5.1 Cloropreno (Neopreno)**

Caucho de Policloropreno (Neopreno) es un homopolímero de clorobutadieno, o Cloropreno. El cloropreno es un líquido que se parece al isopreno en cuanto a su estructura química, salvo que tiene un átomo de cloro, mientras que el isopreno tiene un grupo metilo. El átomo del cloro aumenta el nivel de resistencia a los aceites, situándolo en entre el caucho natural y el caucho nitrílico. Ofrece el conjunto más equilibrado de propiedades deseables. Es apropiado en muchas aplicaciones.

En cuanto a propiedades, posee excelentes propiedades mecánicas y de abrasión; buena adhesión al metal, algunos tipos presentan tendencia a la cristalización a bajas temperaturas; resistente a productos químicos inorgánicos, excepto ácidos oxidantes y halógenos; no resiste a la mayoría de compuestos orgánicos, excepto alcoholes; moderada resistencia a los hidrocarburos alifáticos (parafinas, aceites vegetales, grasas animales, etc.); resiliencia algo inferior al NR, en vulcanizados de baja dureza, pero superior a partir de durezas de 60° Shore A; es auto extingible y no propaga la llama; buena resistencia a la temperatura, el ozono y la intemperie; campo de temperatura entre -25° C y 125° C.

## **5.2 Etileno –Propileno – Dieno (EPDM)**

Los copolímeros Etileno y Propileno (EPM) sólo se pueden vulcanizar por peróxidos o radiación, mientras que añadiendo el Dieno (EPDM) es posible realizar la vulcanización convencional con azufre, mejorando con ello el desgarró.

En cuanto a propiedades, podemos encontrar excelente resistencia al envejecimiento, ozono y luz ultravioleta, siendo prácticamente inalterable a la intemperie; excelentes propiedades eléctricas y estabilidad en la radiación; no resiste los aceites y es atacado por solventes halogenados e hidrocarburos alifáticos y aromáticos; moderada adhesión al metal; campo de temperaturas entre  $-45^{\circ}\text{C}$  y  $120^{\circ}\text{C}$ ; limitada resistencia a los ácidos oxidantes; altamente resistente a los ácidos minerales, detergentes, éteres fosfóricos, cetonas, alcoholes y glicoles de bajo peso molecular; capacidad de aceptar grandes cargas de aceites de extensión sin pérdida de las propiedades físicas.

## **5.3 Estireno – Butadieno (SBR)**

Este tipo de caucho fue preparado por primera vez en Alemania en 1929. El SBR es un copolímero de butadieno y estireno en el cual un 25% de las unidades de estireno están distribuidas al azar entre el 75% de las unidades de butadieno en las cadenas moleculares.

El SBR sin vulcanizar es soluble en la mayoría de los solventes hidrocarbonados. La vulcanización es más lenta en el SBR que en el caucho natural y se requiere por lo tanto de aceleradores más poderosos.

Alrededor del 70% del SBR es utilizado por la industria llantera, este tipo de caucho es el que más se emplea, suponiendo algo así como el 60% de la producción de caucho consumido ya sea natural o sintético.

## Capítulo 5: Aplicaciones de materiales elastoméricos sintéticos

En cuanto a sus propiedades podemos encontrar excelentes propiedades mecánicas, moderada al desgarro; inferior resiliencia en comparación con el caucho natural; moderada resistencia al envejecimiento y a la temperatura. Su resistencia puede aumentarse con una formulación adecuada; campo de temperatura entre  $-50^{\circ}\text{C}$  y  $100^{\circ}\text{C}$ ; buena resistencia a muchos químicos inorgánicos, pero mala con ácidos oxidantes; no es aconsejable su uso en contacto con aceites, grasas o hidrocarburos; amplia gama de durezas, desde  $35^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  Shore A.

### 5.4 Nitrilo – Butadieno (NBR)

Este es un copolímero de acrilonitrilo puede variar desde el 18% al 40%. Cuanto más alta es la proporción de acrilonitrilo, más pobres son las propiedades físicas, pero es mejor la resistencia al aceite.

La resistencia al aceite y al calor es ligeramente más alta que en el caucho cloropreno, pero la resistencia a la luz no es tan buena.

En cuanto a sus propiedades podemos encontrar excelente resistencia a los aceites, muy buenas propiedades mecánicas; muy buena resistencia a los solventes; muy buena adhesión a los metales; temperatura de trabajo mayor  $120^{\circ}\text{C}$ ; buena resistencia a la flexión; escasa resistencia al ozono; no resiste grasas azufradas; baja resistencia a la llama; baja permeabilidad a los gases; elevado costo en comparación de los cauchos ordinarios; puede ser atacado por el ozono, hidrocarburos aromáticos, cetonas, ésteres y aldehídos. (Trivelli Leandro, 2017)

En la tabla 5.1 se encuentra un resumen de cada tipo de elastómero, junto a sus respectivas propiedades y aplicaciones.

Capítulo 5: Aplicaciones de materiales elastoméricos sintéticos

Tabla 5.1: *Aplicaciones de materiales elastoméricos sintéticos*

<b>TIPO</b>	<b>NATURALEZA</b>	<b>APLICACIONES</b>
<b>SBR</b>	Copolímeros del butadieno y del estireno	Neumáticos, pavimentos, mecánica, usos generales
<b>NBR</b>	Copolímeros del butadieno y del acrilonitrilo	Productos resistentes al calor o a los agentes químicos
<b>Butilo</b>	Copolímeros del isobutileno y del isopreno	Cámaras de aire, usos que exigen impermeabilidad a los gases
<b>Neopreno</b>	Polímeros del cloropreno	productos resistentes al envejecimiento, a los hidrocarburos y a los ataques químicos
<b>Vinilo</b>	Cloruro de polivinilo y alcohol	Usos generales
<b>Poliuretano</b>	Poliésteres o poliésteres unidos por diisocianatos	Espuma, calzado, juntas, almohadillas, colchones
<b>Siliconas</b>	Clorosilanos (obtenidos por reacción de la sílice con un cloruro de arilo o alquilo)	Juntas para altas presiones y altas temperaturas, equipos mecánicos
<b>Polisulfuros</b>	Productos resultantes de la reacción de dicloruros orgánicos y polisulfuros alcalinos	Rodillos de imprenta
<b>Acrílicos</b>	Derivados de la clorhidrina etilénica o del acetileno	Productos resistentes al envejecimiento o a los hidrocarburos a alta temperatura
<b>Diversos</b>	Poliisopreno, polibutadieno	Neumáticos, aisladores y otras aplicaciones que exigen condiciones estrictas

(Elaboración Propia, 2018)

## **CAPITULO 6 APLICACIONES DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS RECICLADOS**

Luego de ser sometidos a los métodos de reciclaje que se mencionaron en el capítulo 4, los residuos de neumáticos, una vez separados los restos aprovechables en la industria, pueden ser utilizados en campos como: componentes de capas asfálticas, las cuales son usadas en la construcción de carreteras, disminuyendo la extracción de áridos en canteras, alfombras, aislantes de vehículos o losetas de goma, materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, aislantes de vibración. Otros usos son los deportivos, en campos de juego, suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta. Las utilidades de este material, van creciendo día a día, como en cables de freno, compuestos de goma, suelas de zapatos, bandas de retención de tráfico, compuestos para navegación o modificaciones del betún, aislantes acústicos, etc.

### **6.1 Situación a nivel mundial de uso de NFU**

Dow Chemical comercializa bajo la marca Voramer una gama de aglomerantes de granulado de caucho reciclado. Tiene tres productos principales: aislamiento de sonido en construcción, productos moldeados (losetas) y aplicaciones reductoras de la vibración en transporte (encapsulación de vías y alfombras para andenes).

La compañía noruega Ramboll RST desarrolla un proyecto con otras empresas en conjunto con la Universidad de Lund, para la construcción de pistas para carreras de caballos. La construcción de la pista estaba formada por capas textil, neumático troceado 5-10 cm con un espesor de 300 mm, textil y arena grava.

## Capítulo 6: Aplicaciones de materiales elastoméricos reciclados

En Hungría, los proyectos para 2005-2006 se centraban en superficies de 1.000 campos de juegos, 100 campos de deportes, 100 km de carril bici, 50 km de carreteras agrícolas, y re cultivo de 20.000 m<sup>2</sup> de vertederos.

### 6.2 Situación en Chile de uso de NFU

Tabla 6.1: *Estimación de la generación de NFU de auto, camioneta, camión y bus año 2017*

Región	Ton NFU	% del total generado	kg NFU / km <sup>2</sup> -Año	kg NFU/ Habitante-Año
Región de Arica y Parinacota	1.429	1,6%	84,7	6,3
Región de Tarapacá	2.287	2,5%	54,2	6,9
Región de Antofagasta	3.926	4,3%	31,1	6,5
Región de Atacama	2.942	3,2%	39,1	10,3
Región de Coquimbo	3.670	4,0%	90,4	4,8
Región de Valparaíso	9.158	10,1%	558,6	5
Región Metropolitana de Santiago	31.224	34,3%	2027,1	4,4
Región del Libertador Bernardo O'Higgins	5.630	6,2%	343,6	6,2
Región del Maule	7.193	7,9%	237,4	6,9
Región del Biobío	10.558	11,6%	248,8	5,2
Región de La Araucanía	4.454	4,9%	139,9	4,7
Región de Ríos	1.846	2,0%	100,2	4,8
Región de Los Lagos	4.653	5,1%	95,8	5,6
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	752	0,8%	6,9	7,3
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	1.378	1,5%	10,4	8,3
<b>Total Nacional</b>	<b>91.103</b>	<b>100,0%</b>	<b>120,5</b>	<b>5,2</b>

(CINC (Cámara de la industria del Neumático de Chile A.G), 2018)

Capítulo 6: Aplicaciones de materiales elastoméricos reciclados

Tabla 6.2: *Generación de Neumáticos Fuera de Uso (Valores en T)*

		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		<b>Generación de neumáticos usados (NU)</b>						
Reemplazo	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL	6.135	6.756	5.705	5.568	6.088	6.819	6.732
	AUTO Y CAMIONETA	24.705	25.248	29.329	30.350	33.160	35.752	37.949
	CAMION Y BUS	47.780	54.075	52.995	47.373	55.946	54.966	50.461
	MINERIA Y CONSTRUCCION	34.591	37.746	47.696	36.897	33.308	25.081	35.184
	OTROS	1.266	1.807	1.558	1.683	1.734	1.663	1.840
	<b>Total NU por reemplazo</b>	<b>114.477</b>	<b>125.632</b>	<b>137.283</b>	<b>121.872</b>	<b>130.238</b>	<b>124.281</b>	<b>132.166</b>
Vehículos fuera de uso	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL	1.852	2.251	3.740	5.152	7.834	5.036	6.897
	AUTO Y CAMIONETA	430	4.000	5.903	3.207	6.263	3.166	4.103
	CAMION Y BUS							
	MINERIA Y CONSTRUCCION							
	OTROS							
<b>Total NU por vehículos fuera de uso</b>	<b>2.282</b>	<b>6.251</b>	<b>9.643</b>	<b>8.359</b>	<b>14.097</b>	<b>8.202</b>	<b>11.000</b>	
Total Generación de neumáticos usados	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL	6.135	6.756	5.705	5.568	6.088	6.819	6.732
	AUTO Y CAMIONETA	26.557	27.499	33.069	35.502	40.994	40.788	44.846
	CAMION Y BUS	48.210	58.075	58.898	50.580	62.209	58.132	54.564
	MINERIA Y CONSTRUCCION	34.591	37.746	47.696	36.897	33.308	25.081	35.184
	OTROS	1.266	1.807	1.558	1.683	1.734	1.663	1.840
	<b>Total generación de NU</b>	<b>116.759</b>	<b>131.883</b>	<b>146.926</b>	<b>130.231</b>	<b>144.335</b>	<b>132.483</b>	<b>143.166</b>
		<b>Recauchaje</b>						
Recauchaje	CAMION Y BUS	14.183	15.152	13.147	11.523	10.860	9.726	8.306
		<b>Generación de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)</b>						
Total Generación NFU	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL	6.135	6.756	5.705	5.568	6.088	6.819	6.732
	AUTO Y CAMIONETA	26.557	27.499	33.069	35.502	40.994	40.788	44.846
	CAMION Y BUS	34.027	42.923	45.751	39.057	51.350	48.406	46.257
	MINERIA Y CONSTRUCCION	34.591	37.746	47.696	36.897	33.308	25.081	35.184
	OTROS	1.266	1.807	1.558	1.683	1.734	1.663	1.840
	<b>Total generación de NFU</b>	<b>102.576</b>	<b>116.732</b>	<b>133.779</b>	<b>118.707</b>	<b>133.475</b>	<b>122.757</b>	<b>134.860</b>

(CINC, 2018)

Capítulo 6: Aplicaciones de materiales elastoméricos reciclados

Tabla 6.3: Valorización de Neumáticos Fuera de Uso (Valores en T)

		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Reciclaje	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL							
	AUTO Y CAMIONETA	1.321	2.304	2.613	2.961	2.946	3.545	
	CAMION Y BUS	2.454	3.182	3.609	3.409	2.325	2.381	
	MINERIA Y CONSTRUCCION							
	OTROS							
	<b>Total Reciclaje</b>	<b>3.775</b>	<b>5.486</b>	<b>6.222</b>	<b>6.370</b>	<b>5.271</b>	<b>5.926</b>	
Coprocesamiento	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL							
	AUTO Y CAMIONETA	2.119	1.926	918	651	456	414	
	CAMION Y BUS							
	MINERIA Y CONSTRUCCION							
	OTROS							
	<b>Total Coprocesamiento</b>	<b>2.119</b>	<b>1.926</b>	<b>918</b>	<b>651</b>	<b>456</b>	<b>414</b>	
Total Valorización de NFU	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL							
	AUTO Y CAMIONETA	5.894	7.412	7.140	7.021	5.727	6.340	
	CAMION Y BUS							
	MINERIA Y CONSTRUCCION							
	OTROS							
	<b>Total Valorización de NFU</b>	<b>5.894</b>	<b>7.412</b>	<b>7.140</b>	<b>7.021</b>	<b>5.727</b>	<b>6.340</b>	
% Valorización de NFU	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL							
	AUTO Y CAMIONETA	9,7%	10,5%	9,1%	9,4%	6,2%	7,1%	
	CAMION Y BUS							
	MINERIA Y CONSTRUCCION							
	OTROS							
	<b>Total % Valorización NFU</b>	<b>5,7%</b>	<b>6,3%</b>	<b>5,3%</b>	<b>5,9%</b>	<b>4,3%</b>	<b>5,2%</b>	

Datos no disponibles para 2017

(CINC, 2018)

Los neumáticos fuera de uso (NFU) son, entre otros, los residuos de material elastomérico que indudablemente se generan en mayores cantidades, no sólo por el recambio de este producto que exige la industria automotriz sino además, porque el 70% de todo el caucho que se produce en el mundo, ya sea natural o sintético, se emplea en la fabricación de neumáticos.

En Chile, un estudio realizado por el Consejo de Producción Limpia (CPL) y la Cámara de la Industria de Neumático de Chile (CINC) en 2008, estima que se generan anualmente unas 47.500 toneladas de residuos elastoméricos provenientes de NFU. De ese total, 3.000 toneladas se usan como estabilizadores de laderas de rellenos sanitarios, 2.000 toneladas son destinadas para uso agrícola, municipal e infraestructura y otras 2.200 toneladas se utilizan energéticamente por la co-incineración en cementeras. Se

## Capítulo 6: Aplicaciones de materiales elastoméricos reciclados

observa entonces, que el 85% de los NFU generados en el país tienen una disposición final desconocida, lo que equivale a unas 40.300 toneladas por año. El estudio propone también una proyección de las toneladas de NFU que se van a generar en los próximos años. En 2015, se esperan 66.000 toneladas de NFU, y en 2020, son 80.000 toneladas. Los datos actualizados de 2015 confirman las estimaciones ya que se generaron 68.000 toneladas de NFU durante el año 2015, por lo cual la estimación es creíble y confirmada por la experiencia. Entonces, en 12 años, casi duplicaría la cantidad de NFU generada, y por lo tanto, son 68.000 toneladas de NFU previstos que terminarían en vertederos informales si todo sigue de esta forma. Por eso es necesario actuar desde ahora. Además, en el mismo estudio se muestra una repartición geográfica de la comercialización de los neumáticos. Gracias a estos datos, se puede deducir cuáles son las regiones de Chile que generan la mayor cantidad de NFU, para enfocarse en las regiones críticas. (Tirel, 2017)

### **6.3 Aplicaciones de los neumáticos enteros**

#### **6.3.1 Arrecifes artificiales**

Se espera que los neumáticos usados en la creación de arrecifes artificiales puedan perdurar más de 30 años, porque los neumáticos sumergidos en agua marina se encuentran en un medio estable químicamente y protegidos de la radiación ultravioleta, lo que limita la cantidad de lixiviados contaminantes.

Además, el neumático usado entero se puede utilizar como base o estructura sumergida en balsas de implantación para sujetar el sistema Filtros de Macrofitas en Flotación (FMF), sistema desarrollado por Macrofitas SL. Por un lado, actúa como macetero relleno de árido, y por el otro, canaliza los flujos de corriente de agua. Se trata de neumáticos de turismo con una medida homogénea.

### 6.3.2 Balas de neumáticos

Las balas prismáticas de 1 tonelada de peso se fabrican con prensas hidráulicas, que compactan entre 100 y 125 neumáticos por unidad. Las dimensiones habituales son 75, 150 y 135 cm. Son una buena alternativa a los gaviones metálicos en la construcción de estructuras de contención y presas. Se han utilizado con éxito en la estabilización de márgenes fluviales degradados por la erosión del agua. Por su forma geométrica e instalación modular se adaptan muy bien a ser recubiertas con hormigón o fábrica para la formación de muros.

La gran resistencia que presenta el neumático entero frente a factores climatológicos hace que se utilicen en la construcción de barreras o muros. Presenta ventajas como su facilidad de apilamiento, además de permitir el crecimiento de vegetación sobre los mismos integrándolo en el entorno.

Dependiendo del fin, podemos encontrarlos como:

- Barreras acústicas: los neumáticos constituyen la base de la estructura y se recubren con tierra, de esta forma, no les afecta la luz. Como la estructura es inmóvil, el desgaste del material es mínimo. Se aprovecha la capacidad de absorción de vibraciones del neumático.
- Taludes: la utilización de neumáticos enteros en la construcción de taludes es sencilla, ya que, se adapta al terreno. Además, debido a su capacidad drenante evita desprendimientos de tierras.

Otro tipo de uso que se le puede dar a este tipo de material es a través de pistas provisionales, las cuales se pueden utilizar en circulación de vehículos sobre terrenos poco estables en explotaciones forestales, accesos a canteras, etc.

### **6.3.3 Macizos de suelo reforzado**

Los neumáticos fuera de uso, agrupados en sistemas de tipo geomalla permiten la formación de macizos de suelo reforzado mediante la interposición de capas superpuestas de neumáticos enteros rellenos de material granular compactado. Las estructuras neumático-suelo muestran propiedades mecánicas superiores a los suelos de origen y pueden presentar diferentes aplicaciones específicas como muros de sostenimiento de tierras, muros de estabilización en pie de taludes, muros antierosión en márgenes de cauces fluviales, rellenos ligeros en terraplenes, decoración y elementos de recreo en parques infantiles, ferias, etc.

## **6.4 Aplicaciones de los neumáticos triturados**

### **6.4.1 Rellenos ligeros**

Empleados como relleno de terraplenes se utilizan fundamentalmente sobre cimientos compresibles o de baja capacidad portante para limitar las cargas transmitidas al cimiento y los asentamientos totales. Pueden realizar también mezclas de suelo o material granular con neumáticos troceados en aquellas situaciones donde la necesidad de una menor compresibilidad del relleno compense el aumento de peso frente al uso de neumáticos troceados en exclusiva.

Los rellenos ligeros también pueden utilizarse sobre estructuras o tuberías enterradas, para limitar las cargas sobre la estructura y la concentración de tensiones por consolidación diferencial, ya que su deformabilidad permite la generación de un efecto bóveda sobre la estructura. En zonas con problemas de inestabilidad, su baja densidad y suficiente resistencia al corte permite su empleo para la formación de taludes o bermas. Resulta un material

## Capítulo 6: Aplicaciones de materiales elastoméricos reciclados

especialmente adecuado como relleno ligero en trasdós de muros (estribos de puentes, muros de sostenimiento, etc).

La utilización de triturado de neumáticos fuera de uso como relleno de muros de contención reduce el empuje soportado por dicho muro, debido a su peso reducido y a su gran capacidad drenante.

### **6.4.2 Pistas de atletismo**

Los gránulos de caucho procedentes de neumáticos fuera de uso son una materia prima básica en la composición de los distintos revestimientos sintéticos, que podemos clasificarlos en revestimientos realizados “in situ”, mixtos y prefabricados, atendiendo a su puesta en obra, que a su vez, pueden ser compactos o multicapas si el tipo de mezclas que lo componen es homogéneo o compuesto por capas de distintas calidades. En la construcción de una pista de atletismo o se emplean aproximadamente de 70 a 80 [T] de gránulos de caucho, según el sistema que se instale y de la superficie de la pista, siendo las partículas de caucho de un tamaño comprendido entre 1 [mm] y 4 [mm].

### **6.4.3 Aislamiento térmico**

Los neumáticos triturados son materiales física y químicamente resistentes. Se puede considerar que presentan una capacidad de aislamiento térmico 8 veces superior a la de un suelo. La utilización de rellenos de neumáticos fuera de uso en terraplenes de carreteras proporciona una protección eficaz frente a la penetración de la helada en el suelo subyacente. El problema de la pérdida de capacidad portante de los suelos durante el deshielo primaveral es un factor primordial de diseño de carreteras en zonas frías. Las propiedades de

protección frente a la penetración de la helada pueden aplicarse también a otras situaciones tales como la construcción de vertedero, zanjas drenantes, etc.

### **6.4.4 Aislamiento acústico**

El caucho es un material con buena absorción acústica, por lo que resulta adecuado para la fabricación de pantallas anti ruido en carreteras. Los neumáticos fuera de usos troceados, así como enteros o embalados, han sido utilizados como material de relleno de terraplenes longitudinales utilizados como barreras anti ruido. Paneles de caucho granulados, aglomerado con resinas de poliuretano, se ha utilizado como capa de aislamiento en barreras acústicas prefabricadas.

### **6.4.5 Pistas multiuso**

Las características generales que deben cumplir todos los pavimentos deportivos son elasticidad, resistencia al deslizamiento y durabilidad. La elasticidad permite que el pavimento juegue un papel importante absorbiendo parte de la energía que el deportista transmite en sus impactos con el pavimento evitando así lesiones en sus articulaciones y en sus caídas.

Las capas elásticas de mejor calidad se fabrican con gránulos de caucho procedentes de la trituración de neumáticos fuera de uso, utilizando generalmente como aglomerante una resina de poliuretano. Se fabrican en distintos espesores a pie de obra, o se suministran prefabricadas en forma de rollos. La capa final de acabado debe garantizar la correcta estabilidad del deportista en contacto con el pavimento, así como el bote de la pelota, por lo que la textura y calidad de esta capa varía en función de distintos factores como son la ubicación de la pista en interior o al aire libre y, el tipo de deporte.

#### **6.4.6 Campos de hierba artificial**

Existen en el mercado, alfombras de hierba artificial, iniciadas para los campos de jockey, para la práctica del fútbol, que consisten en una base asfáltica, seguidas de una capa de arena y otra de gránulos de caucho de neumáticos fuera de uso y, por último, las fibras.

La utilización de granulado de neumáticos fuera de uso en campos de césped artificial presenta ventajas como la reducción en el consumo de agua, la simplicidad de mantenimiento del mismo debido a la durabilidad y resistencia climática del granulado.

Existen dos vías de utilización del granulado en la construcción, como relleno de la fibra sintética junto a áridos o, como capa de base para el propio césped artificial.

#### **6.4.7 Colchonetas para animales**

Recubiertas por dos capas de tela sintética, la cual protege al granulado contra los rayos ultravioleta. La capa interior es impermeable y puede lavarse y desinfectarse rápidamente.

#### **6.4.8 Pavimentos de seguridad**

Se utilizan principalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos para evitar posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico.

La utilización de granulado de neumáticos fuera de uso en los suelos de parques infantiles o zonas de juegos, resulta ser una aplicación muy interesante ya que evita graves lesiones de los más pequeños y da seguridad a los más

mayores. Su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano. Una variante puede ser como protector de guardarraíles.

#### **6.4.9 Capas drenantes en vertederos**

El triturado de neumáticos fuera de uso es un buen material drenante, debido a la alta conductividad hidráulica que presenta. En los vertederos se puede utilizar en las siguientes capas estructurales:

- Recogida de lixiviados, donde el espesor de la capa de drenaje mayor a 0,5 [mm]. Esta capa requiere de una permeabilidad superior a  $10^{-3}$  [m/s] y los rellenos de neumáticos fuera de uso superar este requisito ( $10^{-2} - 10^{-1}$  [m/s])
- Recogida de aguas superficiales
- Recogida de biogás, donde, además de tener la función de material drenante, absorbe los empujes del propio residuo dentro del vertedero, evitando fracturas en el tubo de evacuación del biogás.

Este material también es utilizado como relleno de las zanjas o pozos drenantes de recolección, protegido de la contaminación mediante una envuelta geotextil.

#### **6.4.10 Sistemas de drenaje en carreteras**

Se emplean los NFU de uso troceados como material de relleno de capas y zanjas drenantes en carreteras. Las propiedades elásticas de relleno proporcionan una protección mecánica a las tuberías. Las propiedades aislantes del caucho hacen que sea un material de relleno idóneo en zonas sometidas a temperaturas bajas, impidiendo la congelación del agua contenida en él.

#### **6.4.11 Calzado**

Las suelas de los zapatos fabricadas con polvo o granulado son muy duraderas y a menudo duran más que el cuerpo del zapato.

#### **6.4.12 Equipamientos viales y ferroviarios**

Se han utilizado reciclados en equipamientos viales prefabricados (bordillos, badenes, isletas, bandas sonoras, conos de señalización, barreras de seguridad, quitamiedos, etc.).

En los equipamientos ferroviarios destaca la utilización de losetas flexibles en pasos a nivel, aunque también, se ha empleado en la fabricación de traviesas compuestas.

### **6.5 Aplicaciones en materiales bituminosos**

Los productos bituminosos son un mercado de gran potencial para los NFU. El sistema asfalto-caucho presenta como ventaja la tecnología simple, aunque necesita bombas especiales por la gran viscosidad, y como desventaja, la alta sensibilidad a los parámetros (velocidad de calentamiento, tamaño, rango de temperatura, etc.), con tendencia significativa a la separación por los enlaces débiles entre partículas de caucho y bitumen, que se elimina con una degradación química y una dispersión mecánica en presencia de agentes anti sedimentación y/o entrecruzantes.

Existen numerosos estudios, proyectos y patentes en relación con la modificación y mejora de las características del sistema asfalto-caucho.

- En carreteras: Una de las aplicaciones de los NFU es en la red vial, lo que supone un gran mercado potencial capaz de consumir por sí solo todo el neumático que se recicle. Las exigencias actuales en las carreteras hacen

## Capítulo 6: Aplicaciones de materiales elastoméricos reciclados

que sustituyamos el betún convencional por betunes modificados con polímeros, los más actualizados SBS (estireno-butadienoestireno), EVA (acetato de vinilo-etileno), polietilenos, EPDM (monómero dienoetileno-propileno), etc.

- La aplicación en la red de carretera tiene grandes ventajas para el empleo del caucho reciclado. Se están utilizando productos elastoméricos a los que el caucho reciclado podría sustituir o complementar, pueden utilizar grandes volúmenes en cada obra y dado que la construcción de carreteras se da en todo el territorio nacional, no se necesita transportarlo a grandes distancias.

### **6.6 Valorización energética**

#### **6.6.1 Producción de combustible**

El alto poder calorífico de los neumáticos fuera de uso (7.500 kcal/kg), superior al del carbón, les convierte en un buen combustible para instalaciones industriales de grandes consumos energéticos como la industria cementera. La utilización del NFU como combustible, aprovecha la energía térmica que produce la combustión de sus componentes, derivados del petróleo gran parte de ellos.

Además de energía, en este proceso en concreto, se aporta hierro a la composición del clínker. El NFU utilizado, puede ser triturado o entero, dependiendo del tipo de instalación.

La composición del neumático usado resulta ser muy ventajosa, tanto para la industria cementera como para el medio ambiente, por las siguientes razones:

- Bajo contenido de humedad respecto a otro tipo de combustibles, por lo que es necesario un sistema de secado previo a la entrada del horno.

## Capítulo 6: Aplicaciones de materiales elastoméricos reciclados

- Contenido de azufre bajo, lo que supone una reducción de las emisiones de  $\text{SO}_x$  respecto a los combustibles convencionales.
- Disminución de las emisiones de  $\text{CO}_2$  computables, debido al origen renovable del contenido de caucho natural del neumático. Con la utilización de neumáticos se reducen las emisiones de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ , por lo que es absolutamente factible la valorización en hornos de cemento hasta un 20% del combustible utilizado.

### 6.6.2 Aprovechamiento energético por gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico de descomposición de la materia orgánica en un ambiente caracterizado por un déficit de aire respecto al estequiométrico necesario para realizar la combustión completa de la misma. Es un proceso a  $600^\circ\text{C}$  donde el combustible sólido reacciona con un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor de agua).

En el tratamiento de neumáticos usados vía gasificación se obtienen dos fases, una sólida (mezcla de negro de carbono (25% en peso del total de neumático usado), y acero (12% en peso del total de neumático fuera de uso)) en aproximadamente un 37% en peso del total de los productos del proceso, y una fase gaseosa en un 63%. Los dos componentes de la fase sólida se separan fácilmente con un tropel rotatorio de tamizado. El gas generado sale de los gasógenos a una temperatura superior a  $350^\circ\text{C}$  y contiene dos fases separables

- Fase gaseosa no condensable, formada por una amplia gama de gases de gasificación ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , hidrocarburos  $\text{C}_1$ ,  $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$ ,...)
- Fase gaseosa condensable, constituida por todo el espectro de alquitranes, aceites medianos y ligeros, BTX, etc. Constituye un 25% del peso total de los neumáticos tratados. Los aceites condensados se pueden valorizar

energéticamente como sustitutivo de un fuel-oil ligero o emplear en aplicaciones industriales específicas.

### **6.6.3 Aprovechamiento energético mediante pirolisis**

Un método específico de la valorización energética por gasificación es la valorización energética por pirolisis. Mediante la pirolisis se obtiene, de modo general, carbono pirolítico (33% en peso), gases (20% en peso) y residuo metálico (12% en peso).

Según las condiciones de procesamiento (velocidad de calentamiento, tamaño partícula, rango de temperatura) se obtendrán distintos porcentajes en peso de los elementos pirolíticos, así como características diferentes de los mismos.

Numerosos estudios se centran en obtener productos valiosos de carbono pirolítico, por ser los que presentan mayor potencial de valorización. Las vías de valorización del carbono pirolítico pueden ser como combustible de situación (mezcla con carbón), negro de carbono para carga en materiales poliméricos, o como materia prima en la fabricación de carbono activo.

Los aceites obtenidos se pueden emplear como combustible en hornos convencionales. Los gases no condensables tienen un poder calorífico del orden 68-84 MJm<sup>-3</sup>, compuesto principalmente por hidrocarburos ligeros (olefinas y C1-C4 parafinas) junto con H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, elementos que pueden ser empleados para calentar el reactor de pirolisis, o como combustible en las cementeras. Sin embargo, la valorización energética mediante pirolisis no está muy difundida debido al coste de las instalaciones necesarias.

## **CAPITULO 7    PROTOTIPO    DE    CONSTRUCCIÓN    DE MATERIALES ELASTOMÉRICOS**

Los pisos de caucho poseen diferentes usos, tales como habitacionales, institucionales, en clínicas, hospitales, oficinas, centros de cómputo y áreas de cableados y electricidad, pues son conductivos, antiestáticos, antifatiga, antiderrapantes y antibacterianos. Se utilizan también en infraestructuras de servicios, como hoteles, centro de convenciones y salas de recepciones; y por último, en fábricas y plataformas marinas.

### **7.1    Losetas de caucho**

Este producto deriva del NFU y de la trituración de este. Este tipo de piso puede ser utilizado como pavimento de seguridad en parques infantiles, jardines infantiles, puestos de trabajo, gimnasios y/o aplicaciones similares. Se forma con gránulos de caucho, con espesores diferentes para obtener las propiedades específicas a cada pavimento, mezclado con un ligante de poliuretano monocomponente. Este tipo de piso implica ciertas ventajas y desventajas: ventajas, en cuanto a la flexibilidad y dinamismo que supone comercializar un producto nuevo y la gestión de parte de los residuos generados durante la producción del resto de productos; y desventajas en cuanto al costo de inversión y mantenimiento de nueva maquinaria, compra de materia prima y la formación del personal, entre otros.

Utilizar baldosas de caucho reciclado nos entrega varias ventajas, entre ellas es que tendremos un pavimento antideslizante, reducción de ruidos, amortiguación de impactos, alta resistencia al desgaste, además, son amigables con el medio ambiente, ya que no es un material contaminante.

### 7.2 Propiedades de los pisos de caucho

Los pisos de caucho presentan ciertas propiedades, las cuales los diferencian de los demás tipos de pisos, como por ejemplo: durabilidad, los pisos fueron concebidos para durar. Su elevada resistencia a la abrasión permite soportar severas condiciones de uso; absorción de sonido, las propiedades acústicas del caucho posibilitan la atenuación de todo tipo de ruidos molestos, creando un ambiente confortable; aislante eléctrico, su característica especial de actuar como aislante eléctrico, posibilita el cumplimiento de normas de seguridad indispensables; Aislante térmico, los pisos de caucho son también aislantes térmicos, lo cual permite crear climas adecuados durante todas las épocas del año; antideslizante, su bajo coeficiente de deslizamiento los hace particularmente seguros en lugares como escaleras, rampas y pasillos; resistencia a la quemadura de cigarrillos, los pisos de caucho no son afectados por las colillas de cigarrillos, a lo sumo pueden producir un ligero manchado fácilmente removible por los sistemas convencionales de limpieza; mantenimiento, son ideales para los lugares de alto tránsito sin requerir cuidados especiales. Su acabado, libre de poros, permite un mantenimiento sencillo y a su vez, económico; confortable, los pisos de goma son elásticos y flexibles, presentan cualidades de amortiguación, lo que los hace mucho más confortables para trabajar, estar de pie o caminar.

### 7.3 Prototipo

Ya conocidas las aplicaciones del caucho reciclado a través de los neumáticos fuera de uso, se ha considerado una cancha de básquetbol de dimensiones 15 x 28 [m]. Esta se encuentra ubicada en el interior de un gimnasio.

Sobre esta cancha, se instalará un piso de caucho, el cual fue cotizado en empresas que se dedican a dicha fabricación de pisos.

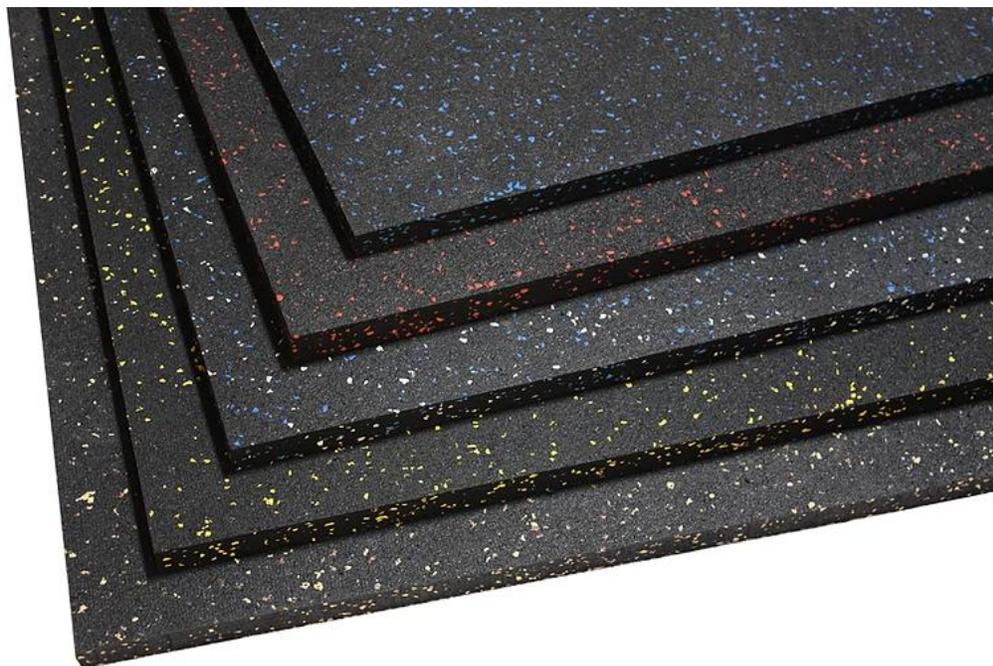


### 7.3.1 POLAMBIENTE

A continuación, se dará a conocer el tipo de piso cotizado en la empresa POLAMBIENTE, y su respectivo presupuesto.

El producto seleccionado lleva por nombre “Tapete, Silent Acoustic”, el cual es un producto multifuncional, ya que se puede utilizar en diferentes tipos de actividades, juegos infantiles, gimnasios, aislantes térmicos, etc.

Las ventajas de utilizar este tipo de piso es que es de fácil instalación y sencillo de limpiar, no genera hongos ni bacterias, es antideslizante, resistente a impactos, y a su vez, contribuye al medio ambiente.



*Figura 7.2: Piso Tapete (Fuente: POLAMBIENTE S.A)*

## Capítulo 7: Prototipo de construcción de materiales elastoméricos

“Tapete” es de fácil instalación y perdurable en el tiempo. Siendo sus componentes caucho, EPDM Y aglomerante en base a PU, hacen que el material no pierda sus propiedades de disminución de impactos, aislante, decoración, antibacterial, entre otros. Es un producto de origen nacional y 100% de caucho reciclado, aportando soluciones a la gran problemática de contaminación ambiental.

### 7.3.2 MULTICANCHAS

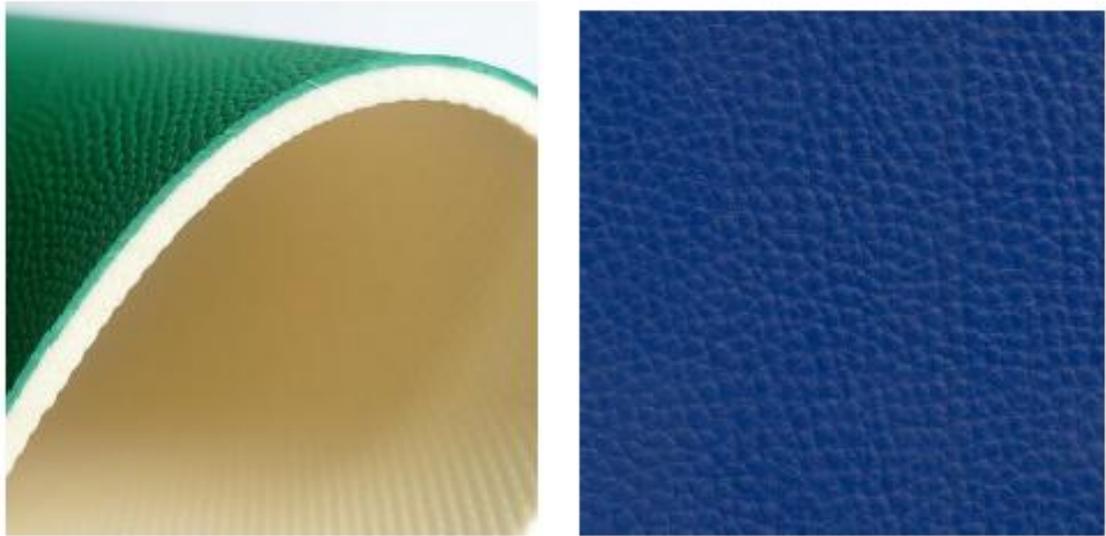
Uno de los pisos cotizados en esta empresa es CARPETA INTERIOR FLEX SPORT 4500 de espesor 4,5 mm. Cuenta con una capacidad superior para la absorción de los impactos y saltos, amortiguación de espuma celda cerrada, protege de los golpes y caídas. Coeficiente óptimo de deslizamiento.

Dimensión Rollo 30 m<sup>2</sup> (1,5 x 20 m) espesor 4,5 mm.

Estructura:

- Recubrimiento de PUR: Ofrece una excelente resistencia a la acumulación de suciedad, de fácil mantención
- Capa 100% vinílica: permite una mayor vida útil
- Capa interna fibra vidrio: Capa reforzada, mayor resistencia y absorción de impactos.
- Capa de espuma célula cerrada: excelente resistencia a los golpes, estabilidad superior sin deslizamiento.

En la siguiente figura, Ilustración 7.3, se presenta el tipo de piso cotizado.



*Figura 0.1:* Piso FLEX SPORT 4500 (Fuente: MULTICANCHAS)

En la misma empresa, se cotizó otro piso, con características similares al anterior mencionado. SISTEMA DEPORTIVO SPU BC de 4 mm de espesor, cuenta con una capa de amortiguación diseñada para la nueva generación de canchas deportivas, reemplazando al caucho. Este Buffer coat permite que el sistema tenga una mayor elasticidad, con excelente absorción de impactos, protege las articulaciones de los deportistas, y permite un bote uniforme de la pelota en toda la superficie. Excelente durabilidad, no se deforma con los cambios de clima o temperatura y es de fácil mantención.

El material de Silicon PU (SPU) es una nueva generación de material de terminación para superficies deportivas, científicamente combinado con material de poliuretano (PU) y silicona. Tiene un excelente rendimiento y de gran innovación, revolucionario en términos de rendimiento profesional, construcción y de protección del medio ambiente, larga vida útil y fácil mantenimiento.

## CAPITULO 8 PRESUPUESTO

En la tabla 7.1 se dan a conocer los precios del Piso Tapete, los cuales fueron otorgados por la empresa POLAMBIENTE.

Tabla 8.1: Precios Piso Tapete

Empresa	Producto	Dim m2	Espesor mm	Precio/m2	Precio/10 m2
POLAMBIENT E S.A	Rollo de caucho	10	3	\$ 4.755	\$ 47.550
			5	\$ 6.373	\$ 63.730
			8	\$ 8.799	\$ 87.990
			10	\$ 10.416	\$ 104.160

(Elaboración Propia, 2818)

Tabla 8.2: Presupuesto empresa POLAMBIENTE



SUMINISTROS	Cant. M2		P. Unit.		P. Total
Tapete Rollo de Caucho	420	UF	0,23	UF	96,6
MANO DE OBRA					
Aplicación Sistema deportivo	420	UF	0,47	UF	197,4
Aplicación Barrea Humedad Stauf	420	UF	0,12	UF	50,4
OTROS					
Flete a obra	1	UF	12	UF	12
Visita Técnica	1		8	UF	8
			TOTAL	UF	364,40
			TOTAL	\$	9.889.816
Valor UF al día del cierre					

(Elaboración Propia, 2018)

Capítulo 8: Presupuesto

Tabla 8.3: Presupuesto 1 empresa MULTICANCHAS



SUMINISTROS	Cant. M2		P. Unit.		P. Total
Carpeta Piso FLEX SPORT 4500	420	UF	0,61	UF	256,2
	DESCUENTO DIC 2018			30%	76,86
Adhesivo y soldadura	420	UF	0,10	UF	42,00
Materiales para afinado superficie	420	UF	0,12	UF	50,40
MANO DE OBRA					
Instalación Sistema deportivo	420	UF	0,30	UF	126
Aplicación Barrea Humedad Stauf	420	UF	0,12	UF	50,4
Afinado superficie	420	UF	0,12	UF	50,4
OTROS					
Flete a obra	1	UF		UF	12
Visita Técnica	1			UF	8
			TOTAL	UF	518,54
Valor UF al día del cierre - Valores no Incluyen IVA - Material Puesto en Obra					
Presupuesto sujeto a visita técnica					

<b>VALOR TOTAL + IVA</b>	<b>617,06</b>	<b>UF</b>
	<b>16.745.380</b>	<b>\$</b>

(MULTICANCHAS, 2018)

En la tabla anterior, tabla 8.3, se dio a conocer el presupuesto para el piso FLEX SPORT 4500, de la empresa MULTICANCHAS.

Capítulo 8: Presupuesto

Tabla 8.4: Presupuesto 2 empresa MULTICANCHAS



SUMINISTROS	Cant. M2		P. Unit.		P. Total
Sistema deportivo SPU BC 4mm	420	UF	0,93	UF	390,6
	DESCUENTO DIC 2018			18%	70,31
MANO DE OBRA					
Aplicación Sistema deportivo	420	UF	0,47	UF	197,4
Aplicación Barrea Humedad Stauf	420	UF	0,12	UF	50,4
OTROS					
Flete a obra	1	UF	12	UF	12
Visita Técnica	1		8	UF	8
			TOTAL	UF	588,09
Valor UF al día del cierre - Valores no Incluyen IVA - Material Puesto en Obra					
Presupuesto sujeto a visita técnica					

<b>VALOR TOTAL + IVA</b>	<b>699,83</b>	<b>UF</b>
	<b>18.993.372</b>	<b>\$</b>

(MULTICANCHAS, 2018)

## **CAPITULO 9 CONCLUSIONES**

Las técnicas de procesamiento para materiales elastoméricos sintéticos virgen son la masticación y vulcanización. En la primera, el caucho natural es mezclado con diversos elementos, ya sea negro de humo, arcillas, sílices, carbonato de calcio, etc. Esta mezcla pasa por unos rodillos, a través del cual, el caucho disminuye su peso molecular, y a través de amasado queda una mezcla homogénea, la cual está lista para vulcanizar. La vulcanización es otro tipo de procesamiento, en el cual, el caucho crudo, con comportamiento plástico, se transforma en un caucho altamente elástico. La vulcanización puede ser medida a través de una curva, la cual puede ser dividida en tres curvas: inducción, vulcanización y post-vulcanización. Dentro de sus parámetros tenemos tiempo, calor y presión. La vulcanización se puede realizar de dos maneras, con azufre o, peróxidos.

También, tenemos el caucho reciclado, en el cual nuestro producto base es el neumático fuera de uso. Se les denomina así a los neumáticos cuya vida útil ya expiró. Teniendo en cuenta que este tipo de residuo, en el medio ambiente, genera un impacto negativo para este. Es por tal razón que existe la posibilidad de reciclarlos. A diferencia de los elastómeros sintéticos vírgenes, los elastómeros reciclados tienen otras técnicas de procesamiento, en las cuales podemos encontrar: regeneración, termólisis, pirolisis, incineración o coprocesamiento y trituración (puede ser mecánica o criogénica), siendo la trituración mecánica, la más utilizada, ya que ni genera grandes cantidades de emisiones atmosféricas en comparación a los procesos mencionados anteriormente.

El uso de los elastómeros, en general, tiene muy buena acogida, debido a las propiedades que estos poseen. Es un material altamente elástico, lo que permite grandes deformaciones; resistente a la abrasión, desgarró, aceites

## Capítulo 9: Conclusiones

minerales, soluciones ácidas, etc; resistentes a altas y bajas temperaturas, etc. Es por esto que tienen una gran aplicación en la industria. Los elastómeros vírgenes podemos encontrarlos en productos como neumáticos (los más utilizados), calzados, almohadillas, colchones, etc. A su vez, en la construcción, podemos encontrarnos con revestimientos, soportes de puentes, cintas transportadoras (tienen bastante uso en la minería), recubrimientos de cables, sustancias taponadoras, etc.

Así también, los cauchos reciclados tienen usos importantes en esta área. Podemos encontrar losetas o palmetas, las cuales son utilizadas para pavimentos de seguridad ya sea en jardines, gimnasios o similares. Así también, tiene usos como aislante térmico y acústico, usos en pavimentos de asfalto, soportes de puentes, cintas transportadoras, etc; se aprovecha también de manera energética, generando combustibles de uso industrial.

Para el presupuesto realizado, se tomaron en consideración dos empresas: POLAMBIENTE Y MULTICANCHAS. En el caso de POLAMBIENTE, obtuvimos un presupuesto bastante más bajo que MULTICANCHAS. POLAMBIENTE es una empresa que se dedica al reciclaje de neumáticos, y a través de ellos, generan productos como losetas. Esto nos da a entender el porqué es más económico que el otro. MULTICANCHAS en cambio, no trabaja directamente con la materia prima. Sus productos son de materiales reciclados, pero ellos no lo producen. Las palmetas que se cotizaron en MULTICANCHAS están hechas a base de silicona y vinilo.

## Bibliografía

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Ambiente, M. d. (s.f.). <http://portal.mma.gob.cl/residuos/ley-de-fomento-al-reciclaje/>.
- Billmeyer JR, F. W. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Barcelona: Reverté.
- Castro, I. G. (2007). *Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos*.
- González Jiménez, A. (2017). *Materiales elastoméricos con memoria de forma, tesis doctoral*. Madrid.
- Ledermann Dehndart, W. (2018). *El camino del caucho*. Centro de Estudios Humanistas Julio Prado.
- Pontificia Universidad Católica de Chile, F. d. (2017). *¿Sabes tú qué es? Caucho Natural y Sintético*. Santiago de Chile.
- Sánchez Juan, R. (2012). Segunda vida de los neumáticos usados. *Química Viva*.
- Tirel, K. (2017). *INGENIERÍA DE PERFIL DE MODERNAS PLANTAS PARA RECICLAJE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)*. Santiago, Chile.
- Trivelli Leandro, D. (2017). *Desarrollo de baldosas de seguridad a base de caucho reciclado para uso en parques infantiles*. Córdoba.
- Urrego Yepes, W. (2014). *Efecto del sistema de vulcanización en la cinética de reacción y en las propiedades físico-químicas de un caucho natural colombiano*. Medellín, Colombia.
- Zárate, C. (2014). *Valoración de 3 métodos de reciclaje de llantas para implementar en el municipio de Villavicencio*. Bogotá, Colombia.