

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS  
PARA LA APROPIACIÓN DEL CAUCHO RECICLADO A PARTIR DE  
LLANTAS USADAS EN EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS

JOSE ALEJANDRO MEJIA ALZATE

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA  
MEDELLÍN  
2016

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS  
PARA LA APROPIACIÓN DEL CAUCHO RECICLADO A PARTIR DE  
LLANTAS USADAS EN EL DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS

JOSE ALEJANDRO MEJIA ALZATE

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gestión de la  
Innovación Tecnológica

Asesor

M.Sc. Julián Antonio Ossa Castaño

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA  
MEDELLÍN  
2016

**10 de febrero de 2016**

**José Alejandro Mejía Alzate**

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Le doy gracias a Dios por haberme permitido llegar a este punto en mi desarrollo profesional.

Gracias a mi familia por su constante e incondicional apoyo.

Mis más sinceros agradecimientos a Julián Antonio Ossa Castaño, M.Sc. en Gestión Tecnológica y a Juan Fernando Jaramillo Montoya Ph.D. en Neurociencia, porque siempre estuvieron ahí pendientes brindándome sus conocimientos y asesorías, velando por el buen desarrollo de este trabajo, gracias por haber creído en mí y en el tema que les planteé desde un principio.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
2. JUSTIFICACIÓN .....	14
3. OBJETIVOS .....	18
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. ESTADO DEL ARTE .....	19
4.1. RECICLAJE DE LLANTAS USADAS .....	19
4.1.1. Datos históricos.....	19
4.1.2. Reciclaje de llantas a nivel internacional.....	20
4.1.3. Reciclaje de llantas a nivel nacional.....	21
4.2. CAUCHO EN POLVO O GRANULADO.....	22
4.2.1. Características .....	22
4.2.2. Proceso de producción.....	23
4.2.3. Usos y bondades.....	24
4.2.4. Productos sustitutos del caucho en polvo .....	26
5. VIGILANCIA TECNOLÓGICA .....	28
5.1. PLANEACIÓN.....	28
5.2. FICHA DE NECESIDADES .....	28
5.3. MAPA CONCEPTUAL .....	29
5.4. BITÁCORA .....	30
5.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	34
6. CLASIFICACIÓN DE PROCESOS Y MATERIALES.....	38
6.1. DESCRIPCIÓN PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL CAUCHO RECICLADO .....	38
6.2. VISITAS DE CAMPO.....	40
6.3. CUESTIONARIO DE PREGUNTAS .....	42
6.4. RESULTADOS .....	44
7. TEST DE PERCEPCIÓN Y SENSORIALIDAD .....	46

7.1. METODOLOGÍA .....	47
7.1.1. Primera Etapa.....	47
7.1.2. Segunda Etapa.....	48
7.1.3. Tercera Etapa.....	48
7.1.4. Preguntas test de sensorialidad .....	50
7.1.5. Preguntas test de percepción.....	50
7.2. RESULTADOS .....	50
8. CONCLUSIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	57

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Manejo de las llantas usadas en Colombia .....	22
Ilustración 2. Componentes de una llanta .....	23
Ilustración 3. Diagrama de flujo proceso de producción .....	24
Ilustración 4. Mapa conceptual aprovechamiento de las llantas usadas.....	29
Ilustración 5. Proceso de incineración de llantas usadas.....	34
Ilustración 6. Test de sensorialidad.....	47
Ilustración 7. Test de percepción .....	48
Ilustración 8. Puesta en común grupo completo .....	49
Ilustración 9. Probetas utilizadas para la realización del test.....	49

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Productos sustitutos.....	27
Tabla 2. Ficha de necesidades .....	28
Tabla 3. Bitácora vigilancia tecnológica .....	30
Tabla 4. Empresas visitadas.....	41
Tabla 5. Resultados test de sensorialidad .....	51
Tabla 6. Resultados test de percepción.....	52



## RESUMEN

De acuerdo a estudios realizados por El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que dan cuenta de la cantidad de llantas usadas que son desechas año tras año en nuestro país y debido a la problemática ambiental que esto representa, se hace necesario buscar alternativas para la solución de esta dificultad que tanto afecta a la comunidad.

Se realizó un estudio de vigilancia tecnológica para determinar las capacidades tecnológicas disponibles localmente y en el desarrollo de este trabajo se irán presentando las posibilidades que brindan dichas capacidades y el conocimiento técnico disponible en el entorno cercano; se efectúa una experimentación con el material enunciado en un entorno de laboratorio con el que luego se pretende identificar una serie de oportunidades de diseño de nuevos productos con las sugerencias halladas en test de percepción y sensorialidad realizadas a profesionales de diseño y desarrollo de productos.

PALABRAS CLAVE: LLANTAS USADAS, PROBLEMA AMBIENTAL, BOTADEROS ILEGALES, QUEMA INDISCRIMINADA, RECICLAJE, CAUCHO GRANULADO, TEST DE PERCEPCION Y SENSORIALIDAD, VIGILANCIA TECNOLÓGICA.

## INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en un estudio del año 2009 llamado “Gestión Diferencial de Llantas Pos Consumo”, resalta como en Medellín y su Área Metropolitana se producen cerca de 35.000 toneladas de llantas usadas al año y en Colombia se desechan anualmente unas 150.000 toneladas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009). Esto se convierte en un problema ambiental serio porque la gran mayoría de estas llantas son llevadas a rellenos sanitarios, abandonadas en ríos y quebradas o peor aún son quemadas tan solo para extraerles el acero (PNUD, Unión, Saniplan, Ambiental, & Mundo, 2008) por tanto, se hace necesario buscar una solución que contribuya a resolver esta problemática presente en nuestra ciudad.

Con este trabajo se pretende investigar y ahondar en las posibilidades que brindan las capacidades tecnológicas locales, conocimiento técnico disponible en el entorno cercano (Medellín y Valle de Aburrá), así como realizar una experimentación con el material enunciado en un entorno de laboratorio, buscando establecer un cruce de información que arroje como resultado una serie de posibilidades de transformación y de oportunidades para el diseño de nuevos productos con las sugerencias halladas en lecturas de percepción y sensorialidad realizadas a profesionales de diseño y desarrollo de productos. Con esto entonces, se busca contribuir en la mitigación del impacto negativo producido por las llantas usadas, aportar en la generación de nuevos productos y sus positivas consecuencias en la cadena de valor del sector manufacturero, con el fin de evitar al mismo tiempo usos inadecuados posteriores que resultan más peligrosos para el medio ambiente.

Para determinar las capacidades tecnológicas disponibles localmente, se

realizará un estudio de vigilancia tecnológica que no solamente evidencie un diagnóstico del entorno cercano, sino que exprese el estado del arte en lo referente con el reciclado de llantas usadas en el mundo, pudiendo establecer así brechas tecnológicas que podrían potenciar futuras oportunidades de innovación pero que no son razón de ser de este trabajo.

De otro lado, la realización de estudios de percepción y sensorialidad con profesionales del diseño y creación de nuevos productos, ofrecerá a este proyecto un valor importante en cuanto gestión de la innovación, al poner en un contexto investigativo de carácter meramente técnico, nuevas variables desde la sensorialidad, que generan cruces alternativos de información que aportan a la posible novedad de las propuestas resultantes.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia se viene presentando una situación que afecta la calidad de vida de sus ciudadanos, debido a la incorrecta disposición final de las llantas usadas desechadas por el parque automotor, ya que estas cuando son expuestas a la intemperie son generadoras de vectores propagadores de enfermedades como el dengue (Zabala, 2005), además el humo de las llantas que llegan a ser quemadas es altamente nocivo para la salud y generador de enfermedades respiratorias debido a las sustancias químicas expulsadas al ambiente (CO, CO<sub>2</sub>, ZnO, NxO) (Secretaría del Medio Ambiente, 2002). Según un estudio hecho por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2009 llamado “Gestión Diferencial de Llantas Pos Consumo”, cada año se desechan en nuestro país unas 150 mil toneladas de llantas usadas de las cuales, tan solo un 2.3% son aprovechadas para someterlas a un proceso de reciclaje en el que se separan el caucho, el acero y las fibras (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009).

El caucho proveniente del proceso de reciclaje de llantas usadas, tiene una innumerable cantidad de usos y utilidades, entre ellos se encuentra que puede ser usado como agente modificante en mezclas de asfalto para la pavimentación de vías (MacLeod, Ho, Wirth, & Zanzotto, 2007). En Colombia grandes empresas constructoras de carreteras, se encuentran haciendo pruebas con este tipo de asfalto, especialmente en diferentes vías de la ciudad de Bogotá (Ocampo, Caicedo, & González, 2002), así mismo en España y otros países de Europa ya se han construido varios tramos de carreteras utilizando el caucho reciclado como aditivo en el asfalto (Velasco, 2009).

La empresa cementera de origen antioqueño Cementos Argos S.A., empezará a emplear parte de las llantas usadas que contaminan el ambiente como combustible sustituto del carbón o gas en los hornos para la producción de

clínker, materia prima del cemento. Camilo Restrepo, Vicepresidente de Innovación de Cementos Argos S.A., manifestó que tras la prueba piloto realizada en la planta de Rio Claro, la empresa está lista para trabajar con las llantas trituradas como insumo energético en reemplazo del carbón y el gas, se calcula que estarán en capacidad de consumir hasta 20 mil toneladas o más de este desecho cada año (Sandoval, 2015).

El caucho reciclado también es usado como aditivo en mezclas de concreto para elementos no estructurales (Yilmaz & Degirmenci, 2008), puede ser utilizado en la fabricación de diferentes productos termo formados, como pueden ser: tapetes, pisos, sillas, materos, adoquines, tope llantas para parqueaderos, bolardos, placas aislantes acústicas, soportes, camas para equinos y bovinos y muchos más (España Patent No. WO 02/14068 A1, 2002). En estos momentos el caucho reciclado, es usado en canchas sintéticas, parques infantiles y pistas de equitación para la protección y amortiguación de golpes.

Esta gran variedad de usos que se le pueden dar a este producto permite deducir el gran potencial que tiene en un futuro y el impacto que podría tener en la generación de nuevos empleos y en la concientización de la sociedad acerca del reciclaje de llantas y en la múltiple variedad de usos que se le pueden dar a las llantas usadas después de ser desechadas.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Las llantas usadas son tal vez uno de los elementos que más se descartan en el mundo. Aproximadamente 300 millones de llantas son desechadas anualmente en los Estados Unidos de las cuales aproximadamente el 5% son quemadas en plantas termoeléctricas, método más utilizado en este país (Cantanhede & Monge, 2002). Brasil produce anualmente cerca de 45 millones de llantas, de las cuales 30 millones son desechadas, gran parte de estas fue utilizada durante varios años en hornos de clínker para la producción de cemento, en Brasil existen aproximadamente 900 millones de neumáticos dispuestos de manera inapropiada en el medio ambiente (Rondón Quintana, 2011). Para el caso de México se estima que anualmente se desechan unos 25 millones de llantas usadas, esto equivale a un cuarto de llanta por habitante por año, debido a esta problemática en algunas ciudades tales como Ciudad Juárez y Tijuana, se han lanzado diferentes programas de investigación, re uso y reciclaje de llantas usadas (Rondón Quintana, 2011).

La disposición final de las llantas usadas representa un problema técnico, económico, ambiental y de salud pública. Estas son difíciles de compactar en un relleno sanitario, haciendo este proceso costoso y presentando además el inconveniente de que ocupan mucho espacio (Cantanhede & Monge, 2002). Su almacenamiento en grandes cantidades presenta riesgo de incendios difíciles de extinguir, además que se convierten en un lugar favorable para la reproducción de diferentes vectores que ponen en riesgo la salud de la población (Zabala, 2005). Su uso como combustible en hornos que no cuentan con la tecnología y los sistemas de filtrado apropiados para el control y disminución de gases, genera graves problemas de emisiones contaminantes a la atmósfera (Cantanhede & Monge, 2002).

A mediados de los años 70's se empezaron a desarrollar en el mundo múltiples estudios e investigaciones, los cuales han llevado a concluir que las llantas usadas se podrían llegar a reciclar y reutilizar de diversas maneras. A continuación se presentan algunas de las posibles opciones para la explotación de este desecho:

- Aprovechamiento energético en hornos productores de clínker, esto con un control de emisiones adecuado (1997).
- Arrecifes artificiales (1972).
- Estabilización de taludes (1984).
- Muros de contención (1984).
- Señalizaciones.
- Protección de equipos.
- Paredón en polígonos de tiro.
- Usos en áreas deportivas.
- Barreras en pistas de karts.
- Usos en delimitación de casas.
- Trituración mecánica para múltiples usos.

Otro de los métodos que empiezan a ser muy difundidos para reciclar las llantas es la gasificación, este 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° C donde el combustible sólido reacciona con un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor de agua). Específicamente uno de los métodos de gasificación es la valorización energética por pirólisis. Mediante la pirólisis se obtiene de modo general, carbono pirolítico (33% en peso), gases (20% en peso), aceites (35% en peso) y residuo metálico (12% en peso). Según las condiciones de procesado (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 (Juan Rocío, 2012).

Debido a la importancia de continuar con el desarrollo e investigación en nuevos usos y formas de reciclar las llantas usadas, se pretende con este trabajo tomar algunos de los usos que se le están dando actualmente al caucho proveniente del reciclaje de llantas, identificar nuevos usos o algunos usos que se le estén dando a nivel local o nacional y tomar tres opciones, contrastarlas e identificar cuáles de estas son las más adecuadas para contribuir a la disminución del impacto generado por estos desechos. Para lograr esto, se desarrollará un estudio de vigilancia tecnológica haciendo énfasis en procesos locales, nacionales y a nivel Latino América para el aprovechamiento de este desecho, igualmente se elaborarán una serie de probetas de caucho granulado reciclado de llantas usadas, a las cuales se les realizarán pruebas visuales y de percepción para llegar a determinar posibles nuevos usos o productos.

Si bien con este trabajo se pretende explorar unas alternativas de usos distintos para el caucho reciclado de llantas usadas, no es el fin mismo de la investigación sino más bien el de demostrar las capacidades adquiridas como gestor de la innovación y la tecnología, esto se evidencia en la metodología que se propone para el desarrollo de este escrito en la que se involucra una vigilancia tecnológica para determinar unas capacidades tecnológicas, la capacidad técnica instalada en la región y se realiza un análisis sensorial y de percepción con diseñadores que están en la capacidad de generar nuevos usos para un material. Este trabajo no se limitará a demostrar los resultados del uso del caucho en un solo proceso como por ejemplo el de la pirólisis, así como tampoco se proyecta encontrar un nuevo mecanismo para reciclar llantas usadas; lo que se pretende es desarrollar una metodología que al tomar una materia prima como es el caucho en grano reciclado que es el insumo



para la producción de una serie de productos manufacturados y luego de ser analizada por diseñadores que por su formación profesional son capaces de sintetizar y formalizar productos industriales como soluciones a los problemas con una visión prospectiva, conlleve a la identificación de unas nuevas utilidades para esta materia prima en el ámbito empresarial local.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar y analizar las posibilidades para la apropiación tecnológica del caucho reciclado a partir de llantas usadas para el desarrollo de nuevos productos.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una vigilancia tecnológica para revisar el estado del arte.
- Analizar productos existentes con materiales similares o sustitutos del caucho en polvo y evaluar la producción local de estos materiales.
- Referenciar tres (3) procesos productivos que se encuentren localmente, por medio de los que se pueda transformar el polvo de caucho en diferentes tipos de productos.
- Elaborar probetas de caucho reciclado compactado a los que se le realizarán pruebas visuales y de percepción para identificar posibles usos o productos a adoptar.

## **4. ESTADO DEL ARTE**

En este apartado se ilustrarán las acciones que se han llevado a cabo en nuestro país y en algunos países del mundo en materia de reciclaje de llantas, así como las características, propiedades y usos del producto resultado de dicho proceso.

### **4.1. RECICLAJE DE LLANTAS USADAS**

Conscientes del daño ambiental provocado por la mala disposición de las llantas usadas, los países desarrollados generan continuamente diversas políticas de control y gracias a numerosas investigaciones han avanzado en el desarrollo de diferentes tipos de soluciones para esta problemática.

#### **4.1.1. Datos históricos**

En 1888, el veterinario e inventor escocés, John Boyd Dunlop, desarrolló el primer neumático con cámara de aire para el triciclo que su hijo de nueve años de edad usaba para ir a la escuela por las calles bacheadas de Belfast. (Quintero Lopez & Ramirez Salgado, 2012).

A mediados de los años 70's países como Alemania y Japón, toman la decisión de utilizar llantas usadas como combustible para hornos de cemento, debido a los altos precios del petróleo impuestos por la OPEP, aunque no se reciclaban, se estaban eliminando los neumáticos y proporcionaban un combustible para ser utilizado en la industria (Rubber Manufacturers Association, 2009).

Antes de 1985, en los Estados Unidos el único manejo que se le daba a las llantas usadas, era el de recogerlas en las servitecas y centros de servicios, para luego ser llevadas a vertederos donde sólo se almacenaban o en algunos casos eran incineradas. Pero fue tan solo en el año de 1985, que el estado de

Minnesota generó la primera ley que regulaba la disposición de estos desechos y fue a partir de esta, que se abrió la posibilidad de que se presentara un cambio en la forma de disponer de las llantas usadas en todo el país (Rubber Manufacturers Association, 2009).

#### **4.1.2. Reciclaje de llantas a nivel internacional**

Países como Estados Unidos, España y Alemania, están muy adelantados en materia de reciclaje de llantas, éstos han promulgado leyes y políticas muy serias acerca del reciclaje, por ejemplo en España mediante El Real Decreto 1619/2005 del 30 de diciembre, se obliga a los productores a hacerse cargo de la gestión de sus residuos y a garantizar su recogida y gestión de acuerdo los parámetros consignados en la ley 10/1998 del 21 de abril, la cual dicta que los residuos se deben gestionar mediante un ciclo ya establecido, aplicando la metodología de las tres R's, Reducir, Reutilizar y Reciclar popularizada por la organización ecologista Greenpeace (Greenpeace, 2005) (Quintero Lopez & Ramirez Salgado, 2012). Como se menciona anteriormente, en ciertos países se han adelantado mucho en el tema del reciclaje de llantas usadas y el principal uso que le están dando es para la fabricación de asfalto modificado, utilizado en la construcción de nuevas vías (Sadhan, Isayev, & Khait, 2005).

En países como Canadá y en la provincia de Nueva Escocia, reciclan el total de las llantas que se desechan anualmente a través de un sistema criogénico que las congela, lo que permite pulverizarlas de manera sencilla y separar sus componentes (caucho, acero y fibras), los cuales son comercializados por separado para ser sometidos a otros procesos de reutilización. De esta forma han logrado evitar que las llantas desechadas se vuelvan un problema que amenace al medio ambiente en sus comunidades (Sadhan, Isayev, & Khait, 2005).

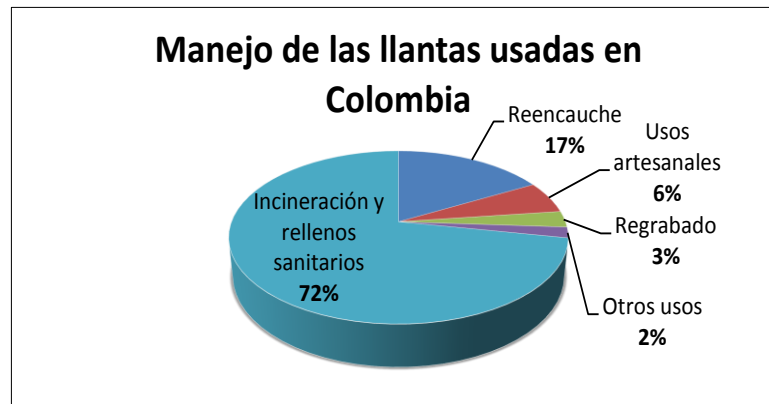
En otros países como México, a pesar de sus regulaciones y de sus esfuerzos por disponer de una forma adecuada este tipo de desechos, aún se acostumbra a quemar las llantas usadas (Rondón Quintana, 2011). Este

proceso es perjudicial para la salud de las personas ya que se expulsa al ambiente sustancias químicas altamente contaminantes que afectan las vías respiratorias como son CO, CO<sub>2</sub>, Óxidos de Nitrógeno y Óxido de Zinc (Secretaría del Medio Ambiente, 2002).

#### **4.1.3. Reciclaje de llantas a nivel nacional**

El Gobierno nacional en la resolución número 1457 de 2010 “Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones”, resuelve en su artículo primero “Establecer a cargo de los productores de llantas que se comercializan en el país, la obligación de formular, presentar e implementar los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas, con el propósito de prevenir y controlar la degradación del ambiente” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009).

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, al 2007 habían 3'674.785 vehículos, los cuales tienen un promedio de recambio de llantas cada 18 meses y éstos llegan a tener un consumo aproximado de 4'000.000 de llantas al año de las cuales 1'000.000 son para camiones, 2'200.000 para automóviles y 800.000 son para camionetas (ACOLFA, 2008); a partir de éstos datos se llega a que tan sólo en Cundinamarca y Antioquia se generan cerca del 50% del total de las llantas usadas a nivel nacional, de esta cantidad el 72% va a parar a rellenos sanitarios, son quemadas para extraerles el acero o para producir energía en hornos (PNUD, Unión, Saniplan, Ambiental, & Mundo, 2008) (Méndez, 2014). En la Ilustración 1. Manejo de las llantas usadas en Colombia, que se presenta a continuación, se identifican los usos que se le están dando a las llantas usadas en Colombia.



**Ilustración 1. Manejo de las llantas usadas en Colombia**  
(PNUD, Unión, Saniplan, Ambiental, & Mundo, 2008)

## 4.2. CAUCHO EN POLVO O GRANULADO

Este producto es una alternativa amigable con el medio ambiente, pues se recicla un desecho altamente contaminante como son las llantas usadas, para luego convertirlas en materia prima de productos comerciales; materias primas obtenidas a partir de un proceso que respeta el medio ambiente y con el cual se evita que las llantas usadas vayan a parar a los rellenos sanitarios o que sean quemados de manera irresponsable.

### 4.2.1. Características

Está compuesto por una mezcla de caucho natural y de cauchos sintéticos, es un producto libre de acero y fibra, de color negro con un olor característico, insoluble en agua y con un aspecto sólido granulado, estable a condiciones normales; disponibles en diferentes tamaños y granulometrías que van desde 0,1 mm hasta 8 mm por grano. A continuación, en la Ilustración 2. Componentes de una llanta se observan los principales componentes que conforman la llanta de un automóvil, de estos, un 80% se aprovecha como caucho en polvo y el restante 20% son fibras de acero y poliéster las cuales son sometidas a diferentes procesos de reciclaje para su posterior reaprovechamiento (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2009).



**Ilustración 2. Componentes de una llanta**

(Sadhan, Isayev, & Khait, 2005)

#### 4.2.2. Proceso de producción

Inicialmente con una máquina destalonadora, se les retira a las llantas los aros de acero que funcionan como refuerzo, luego pasan a través de una banda transportadora, que las envía a la cortadora primaria, ésta debido a sus cuchillas contra-rotantes, deja las llantas en pedazos de aproximadamente 300 mm. Este material luego cae a otra banda transportadora para pasar al siguiente paso del proceso, el cual con una acción similar a la anterior, reduce las dimensiones del material hasta una medida de 50 mm. El material obtenido, pasa a través de una banda transportadora la cual lo lleva a una tercera máquina que con un sistema similar a los anteriores, reduce el caucho a 16 mm, exponiendo así la presencia de acero y fibras del interior de los neumáticos. Una banda transportadora posterior, recoge lo procesado para pasarlo por un imán permanente, este recoge cualquier material ferroso presente. Luego el caucho se lleva a través de un transporte neumático y es almacenado en silos, durante este trayecto, el material se pasa a través de un ciclón, el cual separa el caucho de las fibras de poliéster. En esta etapa del proceso, el caucho, ya sin presencia de acero y fibras, puede iniciar el proceso de refinación. Los granos de goma, son enviados a través de un vertedor a la

máquina de pulverizado, la cual con la acción de embrague entre dos discos rotatorios en sentidos inversos, reduce el grano a las dimensiones deseadas. Una vez terminado este proceso, el material es llevado mediante transporte neumático a la zona de almacenamiento. A continuación en la Ilustración 3. Diagrama de flujo proceso de producción, se presenta en resumen una explicación gráfica del proceso de reciclaje de llantas.

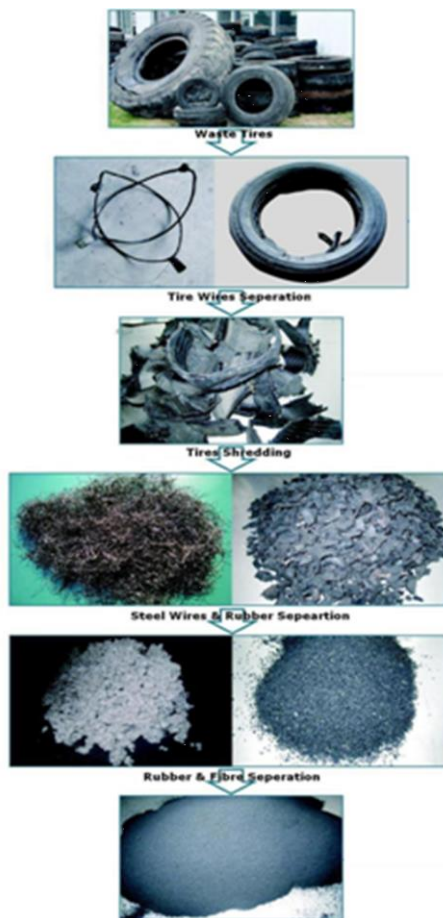


Ilustración 3. Diagrama de flujo proceso de producción

#### 4.2.3. Usos y bondades

El caucho en polvo es utilizado como relleno en la construcción de canchas de grama sintéticas para la práctica de deportes. Al utilizar este producto en la construcción de dichas canchas se contribuye a mejorar las condiciones para



los deportistas, ayudando a que mejoren el rendimiento, disminuyan el riesgo de contusiones en las caídas y evita que se presenten lesiones de rodilla.

También es posible utilizarlo como aditivo en la construcción de vías, este ayuda a mejorar la resistencia a la deformación, reduce la falla por fatiga, aumenta la vida útil respecto a las vías construidas con asfalto convencional, además ayuda a que se disminuya el ruido generado entre un carro y la carretera.

Como aditivo para la mezcla de concretos el polvo de caucho hace que estas sean más livianas lo que permite usarlas en fachadas o construcciones que no requieren una alta resistencia mecánica o en aquellas que deben servir como barreras de sonido. Estudios revelan que el uso de polvo de caucho en mezclas de concreto aumenta la dureza y mejoran la resistencia al impacto, además mejoran el aislamiento acústico (Siddique R. & Naik T. 2007). Las mezclas de concreto pueden contener entre un 10% y un 30% de polvo de caucho.

Reemplazando en los juegos para niños la arena por el polvo de caucho, se mejoran las condiciones de seguridad para ellos, ya que el polvo de caucho ayuda a amortiguar los golpes y además que al no ser un material biodegradable, no se favorece la producción de hongos, ni insectos, igualmente debido a su composición química estable no es un producto toxico lo cual no presenta peligro para los niños. En Estados Unidos y Canadá por reglamentación, todos los parques infantiles deben ser construidos con suelos elásticos de caucho reciclado (Rubber Manufacturers Association, 2009).

A partir del caucho en polvo mezclado con poliuretano, se pueden crear diferentes tipos de productos moldeados, como por ejemplo tapetes y pisos, los cuales se usan para zonas de trabajo donde se necesiten pisos suaves,

como pueden ser zonas de pesas en gimnasios y talleres mecánicos, igualmente es posible crear paneles aislantes, camas para equinos y bovinos, adoquines de caucho. Algunos de los fabricantes de productos moldeados a partir del caucho reciclado se encuentran en países como Canadá, Estados Unidos y España, estas son algunas de las empresas más reconocidas: RMD (España), Reneal y Renecal (España), Rubber Form (USA), Eco-Flex (Canadá), Inter-Lock (Canadá).

En general, el caucho en polvo mezclado con poliuretano y utilizado en diversos tipos de superficies, provee suavidad, durabilidad, amortiguación a los golpes, además de otra gran variedad de cualidades y propiedades beneficiosas para el usuario final.

El caucho en polvo o granulado combinado con arena, es utilizado en pistas de equitación, picaderos, establos de equinos y bovinos, esto con la idea de brindar una superficie más suave y comfortable para los animales además de su facilidad de limpieza.

#### **4.2.4. Productos sustitutos del caucho en polvo**

El producto que podrá ser sustituto de este en las canchas sintéticas es la arena; para el asfalto y el concreto existen una serie de polímeros como son el polipropileno y el PET que también pueden ser utilizados en las mezclas como aditivos; en los suelos para parques infantiles podrá ser también la arena o la grama natural o sintética pero estos no proveen una buena protección a los niños contra los golpes; en los pisos, los sustitutos podrán ser las cerámicas y otra gran variedad de productos, pero los pisos de caucho se usarían para trabajos muy específicos donde se necesiten pisos suaves, como zonas de pesas en gimnasios y ciertos lugares de trabajo en talleres. A continuación en la Tabla 1. Productos sustitutos se presenta un resumen de las aplicaciones del caucho en polvo y sus posibles productos sustitutos.

**Tabla 1. Productos sustitutos**

<b>APLICACIÓN</b>	<b>PRODUCTOS SUSTITUTOS</b>
Canchas sintéticas	Arena o arenilla
Asfalto	Polipropileno, PET
Mezcla de concreto	Polipropileno, PET
Parques infantiles	Arena, grama natural o sintética
Pisos	Cerámica

## 5. VIGILANCIA TECNOLÓGICA

La vigilancia tecnológica es un proceso organizado, selectivo y sistemático, para captar información sobre ciencia y tecnología, seleccionarla, analizarla, difundirla y comunicarla, para convertirla en conocimiento con el fin de tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios (Comité Técnico De Normalización CTN, 2011).

Un buen sistema de vigilancia tecnológica permite a la organización dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las principales líneas de investigación del sector? ¿Qué tecnologías emergentes están apareciendo en el sector? ¿Qué hacen los competidores? ¿Quiénes son los líderes? (Centros de investigación, equipos, personas...)

### 5.1. PLANEACIÓN

<b>Tema:</b> Usos para el caucho reciclado de llantas usadas.
<b>Justificación:</b> El presente estudio de vigilancia tecnológica busca resolver las siguientes preguntas: ¿Qué se está haciendo en el mundo con el caucho reciclado de llantas usadas? ¿Qué productos se están desarrollando? ¿Qué patentes están surgiendo y quiénes están escribiendo artículos acerca del tema?

### 5.2. FICHA DE NECESIDADES

Tabla 2. Ficha de necesidades

Factores críticos de vigilancia	Preguntas	Palabras claves	Restrictores
*Asfalto para vías *Productos moldeados *Mezclas en elementos de concreto	¿Qué procedimientos son utilizados, donde el caucho reciclado sea la materia prima para la generación	Usos del caucho reciclado - uses of recycled rubber - procedimientos - rubber recycling procedures - crumb rubber	Recycled rubber uses - molded products

Factores críticos de vigilancia	Preguntas	Palabras claves	Restrictores
	de nuevos productos para el mercado?		
*Asfalto para vías *Productos moldeados *Mezclas en elementos de concreto	¿Qué patentes existen acerca de los usos del caucho reciclado?	Caucho reciclado patentes - patentes - rubber recycling - crumb rubber	Patents patentes
*Asfalto para vías *Productos moldeados * Mezclas en elementos de concreto	¿Qué productos innovadores se han considerado a partir del uso eficiente del caucho reciclado?	Products of rubber recycled - productos a partir del caucho reciclado - crumb rubber	Products productos
* Asfalto para vías *Productos moldeados * Mezclas en elementos de concreto	¿Cuáles son las características de los productos que usan como materia prima el caucho reciclado?	Características - propiedades - properties - recycled rubber - crumb rubber	Characteristics properties características propiedades

### 5.3. MAPA CONCEPTUAL

A continuación se presenta un mapa conceptual donde se resume la forma de aprovechamiento de las llantas usadas y su proceso de transformación en otros productos.

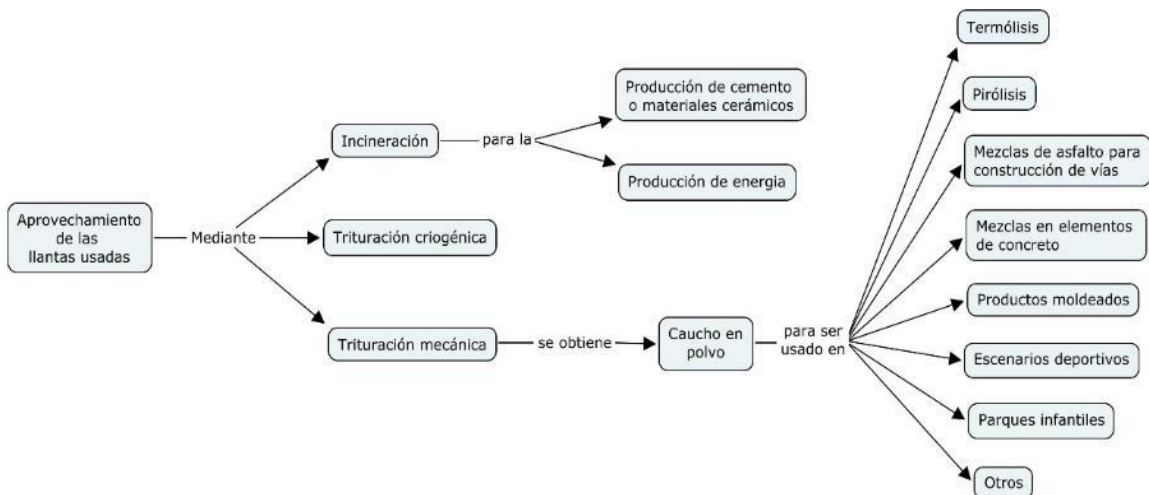


Ilustración 4. Mapa conceptual aprovechamiento de las llantas usadas

## 5.4. BITÁCORA

**Tabla 3. Bitácora vigilancia tecnológica**

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Palabras claves</b>
Caucho reciclado and productos moldeados	Patente para la obtención de material compactado a partir de poliuretano y caucho	Palenzuela Soldevila Pio	Caucho reciclado, llantas, moldeo
<b>Abstract:</b>	El material compactado comprende un elastómero de poliuretano in situ mediante la reacción de un pre polímero de poliuretano terminado en isocianato, un polioliol y caucho.		

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Palabras claves</b>
Reciclado de neumáticos and residuos	Polvo de caucho en extrema duración	D. Serafín Carballo	Neumáticos, polvo de caucho, caucho, vertederos de neumáticos, reciclado, residuos.
<b>Abstract:</b>	En España se producen anualmente 305.000 toneladas de neumáticos fuera de uso (nfu). Existe una amplísima legislación tanto europea, como nacional y regional para tratar este tipo de residuos. En nuestro país desde el 16 de Julio de 2006 está prohibido el depósito en vertederos de todo tipo de neumáticos fuera de uso. De toda esta legislación existente se desprenden unas obligaciones claras y concisas de reciclado tanto para los productores, poseedores y generadores de nfu. Estas obligaciones se articularon inicialmente en un primer Plan Nacional Neumáticos Fuera de Uso (2001-2006) y actualmente en un segundo Plan (2007-2015) con objetivos de reciclado y reutilización muy ambiciosos, en línea con el despunte de valores medioambientales por los que todos estamos apostando.		

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Palabras claves</b>
(Caucho and asfalto and polímeros) or (condiciones ambientales and ligante – pirolisis)	Estado de la utilización de caucho reciclado en obras viales en Latinoamérica. Aplicaciones	Gerardo Botasso y Adrián Cuattrocchio	Neumáticos, reciclado, obra vial, modificador, recursos naturales
<b>Abstract:</b>	Los pavimentos asfálticos presentan problemas de falla o de colapso generalmente dados por fisuración por fatiga, ahuellamiento y adherencia árido-ligante. Mejorar las prestaciones de una mezcla asfáltica implica		

	<p>conocer en forma adecuada los materiales que la componen, la interacción entre los mismos y su dosificación. De todos los componentes de una mezcla asfáltica, el ligante es el que se puede modificar, adaptar o diseñar en su grado de performance a fin de ser compatible con los áridos en las condiciones de solicitación tanto ambientales como de tránsito. Hay una amplia gama de modificadores del asfalto entre los que podemos citar: polímeros, fillers, fibras, entre otros. El efecto de la adición de cualquier modificador debe compararse con los incrementos de costos producidos en las mezclas a fin de obtener su beneficio. Desde hace años la ingeniería vial busca conciliarse con los aspectos ambientales procurando que las obras produzcan el menor impacto sobre el medio ambiente. Esta variable conlleva a extremar los cuidados en explotaciones de canteras, usos de recursos naturales no renovables, consumo de energía en procesos en caliente, entre otros aspectos.</p>
--	--

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Palabras claves</b>
Neumáticos and empresas and maquinaria and caucho triturado	Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos	Guillermo Castro	Reciclado, llantas, neumáticos, usos, sellado asfáltico, reciclaje
<b>Abstract:</b>	<p>La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado (medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión) y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación ambiental al formar parte, generalmente, de vertederos incontrolados. Existen métodos para conseguir un reciclado coherente de estos productos pero faltan políticas que favorezcan la recogida y la implantación de industrias dedicadas a la tarea de recuperar o eliminar, de forma limpia, los componentes peligrosos de las llantas de los vehículos y maquinarias.</p> <p>Un gran porcentaje se deposita en vertederos controlados sin tratar, otro porcentaje se deposita después de ser triturado, y el resto no está controlado.</p>		

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Palabras claves</b>
Neumáticos and llantas and triturado and pirólisis	Reciclaje de Neumáticos Fuera de Uso (NFUs) Trituración Mecánica	SAMARAEZ CHEMICAL CONSULTING, S.	Trituración Mecánica, pirólisis,

<b>Abstract:</b>	En España se generan unas 250.000 toneladas al año de neumáticos fuera de uso que se gestiona de la siguiente manera: el 11,1% se destina a reencauchado; el 1,5% a reciclaje; el 4,6% a valorización energética en cinco plantas cementeras autorizadas y la mayor parte, el 82,8% a vertido, abandono o depósito en vertedero, como ocurre en la mayoría de los países europeos. Hay que tener en cuenta, además, que se estima entre tres y cinco millones de toneladas las que ya existen de estos neumáticos acumulados y almacenados, "stock" histórico que también hay que gestionar.
------------------	--

Ecuación de búsqueda	Título	Autor	Palabras claves
Caucho and reciclaje and nuevos usos and innovación and productos	El uso de caucho de cubiertas en mezclas asfálticas	Cuattrocchio A.C., Botasso H.G., Rebollo O., Soengas Cecilia j.	Neumáticos, caucho, resorte, llantas, sintéticos, cauchos en suspensión.
<b>Abstract:</b>	Actualmente en nuestro país los neumáticos de automóviles son desechados en forma continua, sin registrarse en general ningún sistema formal de deposición selecta o lugares especialmente destinados al efecto. En la actualidad hay pocas empresas en el país que reciclan el caucho de los neumáticos, dado el gran parque automotor con que se cuenta, y por ende la gran cantidad de neumáticos desechados, se hace imprescindible reutilizar los desechos de este material. Por esta razón se hace necesario comenzar a conocer este tipo de residuo que se está generando, para determinar la posibilidad de intervenir en la selección y contar con una valoración del volumen del mismo. En este trabajo se incluye caucho en mezclas asfálticas en frío y en caliente, proveniente de la molienda de neumáticos en desuso. Se seleccionan distintas moliendas que se incorporan como agregado a las lechadas asfálticas. A las mezclas en caliente se le incorpora como agregado y como modificador del ligante asfáltico. En el desarrollo de selladores asfálticos como modificador. Se aplica una sistemática de ensayos que involucren parámetros, químicos, ambientales y físicos de la resistencia de los materiales y procesos para luego valorar la inclusión en sistemas como modificadores y cargas habitualmente usados en las obras viales y civiles. Se valora la factibilidad de inclusión en los cementos asfálticos, siendo estos aglomerantes los de mayor utilización en las obras viales de la región. El sistema formado al incluir al residuo será valorado claramente desde lo químico, lo físico y el medio ambiente a efectos de incluir estos parámetros en los controles de calidad de las obras civiles y viales.		



<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Palabras claves</b>
Recycled rubber and molded products	Elastómeros de poliuretanos modificados con caucho reciclado	Steven E. Schonfeld; William L. Hergenrother; Byron H. Werner	
<b>Abstract:</b>	Se proporciona una composición de elastómero de poliuretano modificado caracterizado por la presencia en el mismo de una proporción sustancial en el intervalo de 5% a 35% en peso del uretano de un caucho de hidrocarburo reciclado, junto con un agente de curado para el uretano y un agente de curado diferente para el caucho de hidrocarburo. Propósitos principales de la presente invención incluyen la producción de elastómeros de alta resistencia moldeables que no son de fusión bajo condiciones de alto cizallamiento.		

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Palabras claves</b>
Rubber recycling and crumb rubber and uses	Rubber – modified asphalt paving binder	Burns, Bernard	
<b>Abstract:</b>	El objetivo de esta patente es la de proveer un estudio de mejoras hechas al proceso de producción de aglutinantes para las mezclas de asfalto modificado con caucho en polvo, así como las proporciones y cantidades de materias primas a utilizar.		

<b>Ecuación de búsqueda</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Palabras claves</b>
Rubber recycling and crumb rubber and uses	Recycled Tyre Rubber Modified Bitumen for road asphalt mixtures: A literature review	Lo Presti, D.	
<b>Abstract:</b>	Este estudio presenta los resultados de una revisión bibliográfica sobre las tecnologías y las especificaciones existentes relacionados con la producción, manipulación y almacenamiento de bitumen modificado con caucho reciclado y en sus aplicaciones actuales dentro de mezclas asfálticas para carreteras. Por otra parte, teniendo en cuenta que las tecnologías de producción del bitumen modificado con caucho reciclado siguen luchando por ser plenamente adoptados en todo el mundo, principalmente debido a la mala información, la falta de formación del personal y las partes interesadas.		

## 5.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

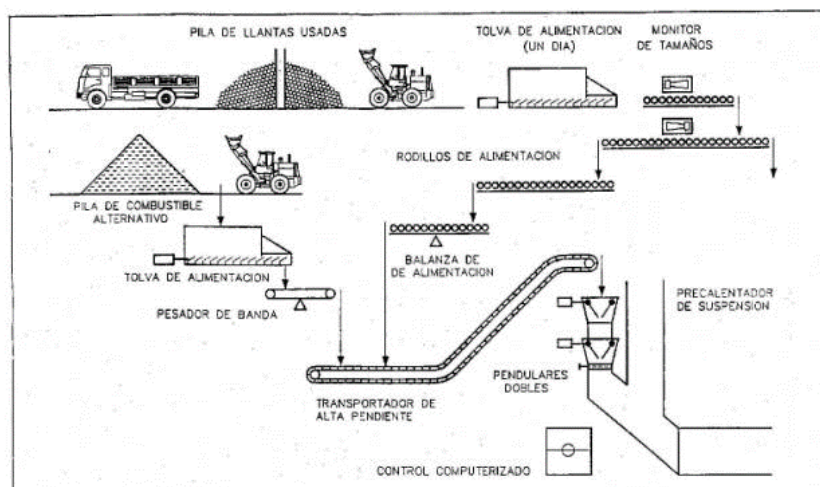
En este numeral se entrará a resolver las preguntas planteadas en la ficha de necesidades elaborada al inicio de este capítulo.

**¿Qué procedimientos son empleados donde el caucho reciclado sea la materia prima para la generación de nuevos productos para el mercado?**

El caucho reciclado proveniente de las llantas usadas inicialmente es molido por medio de un proceso de trituración y usado como materia prima para la creación de nuevos productos. Los procesos utilizados para la fabricación de artículos con este residuo y su aprovechamiento son:

- **Incineración:** consiste en la transformación de los materiales combustibles en un producto gaseoso y un residuo sólido relativamente inerte y libre de microorganismos, compuesto por escorias y cenizas basándose en una combustión controlada vía oxidación a altas temperaturas.

El producto gaseoso que se genera en este tipo de proceso, está compuesto principalmente por sustancias que se encuentran en la atmósfera como son dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O).



**Ilustración 5. Proceso de incineración de llantas usadas**

- **Reencauchado:** el reencauchado de una llanta usada es un proceso que permite reutilizar la carcasa de la llanta al colocar una nueva banda de rodadura siempre que conserve las cualidades que garanticen su uso como si fuera uno nuevo. En el país se debería hacer más promoción y fomentar el uso de llantas reencauchadas.
- **Termólisis:** someter el material (llanta triturada) a un calentamiento en ausencia de oxígeno (atmósfera inerte), provocando así la ruptura de los enlaces químicos (craqueo), dando lugar a la aparición de cadenas cortas, medias y largas de hidrocarburos, que constituirán la fase gaseosa y sólida.
- **Pirólisis:** La pirólisis es un caso especial de la termólisis que involucra la degradación térmica en ausencia de oxígeno. El beneficio de esta aplicación es la conversión de llantas usadas en productos agregados como olefinas, cera y hollín. El proceso general consiste en el sometimiento de las llantas usadas a un proceso de trituración, donde posteriormente se introducen a hornos con temperaturas que van desde los 600 a 800°C en ausencia de oxígeno.

### ¿Qué patentes existen acerca de los usos del caucho reciclado?

Se encontraron una gran variedad de patentes acerca de los usos del caucho reciclado como materia prima para la generación de otros productos. En el área donde se encontraron más patentes, fue en los usos que se le dan al caucho reciclado como aditivo en las mezclas de asfalto para carreteras y concretos. Igualmente se identificaron algunas patentes para el uso del caucho mezclado con poliuretano para la creación de diferentes tipos de productos moldeados, como son tapetes, macetas, baldosas para pisos, entre otros.

### **¿Qué productos innovadores se han considerado a partir del uso eficiente del caucho reciclado?**

Se identificó que a partir del caucho reciclado mezclado con poliuretano, pueden surgir una gran variedad de productos y elementos, los cuales bajo unos diseños novedosos y contemporáneos, podrían llegar a ser productos altamente aceptados por el mercado.

De la misma manera como se menciona anteriormente, al mezclar el asfalto con este caucho se está generando un pavimento con unas mejores propiedades y prestaciones.

Son varios los ejemplos en los cuales pueden utilizarse los neumáticos totalmente enteros o sus flancos y banda de rodamiento: parques infantiles, defensa de muelles o embarcaciones, rompeolas, barreras anti-ruídos, taludes de carretera, estabilización de zonas anegadas, pistas de carreras, o usos agrícolas para retener el agua, controlar la erosión, etc.

Hay también otras múltiples aplicaciones que se le dan al caucho en polvo o granulado: drenaje en campos de deporte, pistas deportivas, planchas para revestimientos, alfombras, productos moldeados, tuberías, suelas para calzado, etc.

También existen avances en el desarrollo de productos plásticos a partir de triturado de caucho, con adición de ligantes de tipo termoplástico o de ligantes tipo poliuretano pueden fabricarse diferentes materiales y objetos como suelas de zapatos, carcasas, láminas aislantes, respaldos, cascos de motociclistas, etc.

### **¿Cuáles son las características de los productos que usan como materia prima el caucho reciclado?**

Son productos amigables con el medio ambiente, duraderos, con muy buenas especificaciones técnicas, por ejemplo la mezcla de asfalto con caucho en polvo reciclado es mucho mejor en sus propiedades técnicas que las mezclas convencionales el caucho en polvo le transmite sus propiedades elásticas, haciendo que el asfalto sea más flexible y duradero.

### **Conclusiones de la vigilancia tecnológica**

Para este trabajo se pretendía reducir la búsqueda a tan solo tres maneras de utilizar el caucho en polvo a partir del reciclaje de llantas usadas, para lo cual se encontró muy buena información en las bases de datos y en los motores de búsqueda. Esto nos muestra que ya se han venido realizando importantes estudios acerca de la mejor forma de aprovechar este residuo tan problemático como son las llantas usadas.

De los dos factores que se escogieron para realizar la vigilancia, se evidencia que el caucho en polvo como aditivo para las mezclas asfálticas es acerca del cual se pueden encontrar más estudios, artículos y referencias, pero de acuerdo a otro tipo de artículos y a lo encontrado en los motores de búsqueda y en la red, el caucho en polvo reciclado como materia prima mezclado con poliuretano para la fabricación de productos moldeados, es mucho más comercial y se aprecia que es más difundido en el mercado, sobre todo en Estados Unidos y Canadá.

## **6. CLASIFICACIÓN DE PROCESOS Y MATERIALES**

Para este trabajo se tomaron algunos de los usos que se le están dando actualmente al caucho proveniente del reciclaje de llantas usadas a nivel local o nacional, posteriormente se seleccionaron tres opciones, las cuales se identificaron como las más adecuadas y con mayor potencial de desarrollo local para así contribuir a la disminución del impacto generado por este desecho. A continuación se presenta una breve descripción de los procesos seleccionados.

### **6.1. DESCRIPCIÓN PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL CAUCHO RECICLADO**

- **Mezclas en asfalto modificado para mejorar las propiedades**

El caucho proveniente del proceso de reciclaje de llantas usadas, tiene una innumerable cantidad de usos y utilidades, entre ellos se encuentra que puede ser usado como agente modificante en mezclas de asfalto para la pavimentación de vías (MacLeod, Ho, Wirth, & Zanzotto, 2007). En ciertos países se ha adelantado mucho en el tema del reciclaje de llantas usadas, el principal uso que le están dando es como aditivo para la fabricación de asfalto modificado, utilizado en la construcción de nuevas vías (Sadhan, Isayev, & Khait, 2005). Este tipo de asfalto modificado ayuda a mejorar las propiedades y prestaciones del pavimento como son la resistencia a la deformación, reducción de falla por fatiga, aumento en la elasticidad, incremento de la vida útil respecto a las vías construidas con asfalto convencional, además de ayudar a que se disminuya el ruido generado entre los autos y la carretera.

- **Pirólisis**

La pirólisis es otro de los métodos que está siendo difundido con el fin de reciclar las llantas usadas, este 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° C donde el combustible sólido reacciona con un agente gasificante (aire, oxígeno o vapor de agua). Mediante la pirólisis se obtiene de modo general, carbono pirolítico (33% en peso), gases (20% en peso), aceites (35% en peso) y residuo metálico (12% en peso). Según las condiciones del proceso (velocidad de calentamiento, tamaño de partícula, rango de temperatura,..) se obtendrán distintos porcentajes en peso de los elementos pirolíticos, así como características diferentes de los mismos (Juan Rocío, 2012). La pirólisis es un caso especial de la termólisis que involucra la degradación térmica en ausencia de oxígeno. El beneficio de esta aplicación es la conversión de llantas usadas en productos agregados como olefinas, cera y hollín. El proceso general consiste primeramente en el sometimiento de las llantas usadas a un proceso de trituración, para posteriormente introducir las a hornos con temperaturas que van desde los 600°C a 800°C.

- **Productos moldeados**

Mezclando el caucho reciclado de llantas usadas con agentes aglutinantes termoplásticos o elastómeros como el poliuretano, se pueden crear diferentes tipos de productos moldeados tales como tapetes y baldosas para pisos, los cuales son usados en zonas donde se necesiten pisos suaves como pueden ser gimnasios, talleres mecánicos o zonas de juegos infantiles, igualmente es posible elaborar paneles aislantes, tejas, adoquines de caucho, macetas, mobiliario urbano, pistas deportivas, suelas para calzado, tope llantas para

parqueaderos, bolardos, diferentes tipos de autopartes y muchos más productos que puedan ser moldeados.

En general, el caucho reciclado de llantas usadas mezclado con aglomerantes y utilizado en diversos tipos de superficies y productos provee suavidad, durabilidad, amortiguación a los golpes, además de otra gran variedad de cualidades y propiedades beneficiosas para el usuario final.

Algunos de los fabricantes de productos moldeados a partir del caucho reciclado se encuentran en países como Canadá, Estados Unidos y España, se pudo observar que este tipo de productos tiene una alta difusión comercial en el mercado de estos países. Con esto se identifica la gran oportunidad que ofrece la introducción de estos productos al mercado nacional, por los beneficios de todas sus propiedades, por ser amigables con el medio ambiente, y por la facilidad de adopción para la industria local de los procesos de producción y maquinaria a utilizar, generando la posibilidad de crear productos totalmente novedosos y competitivos en el mercado.

## **6.2. VISITAS DE CAMPO**

Durante el desarrollo de los estudios de pregrado en Ingeniería Mecánica y en la Especialización en Gestión de la Innovación Tecnológica y gracias a la ayuda de algunos docentes, se realizaron visitas a empresas representativas y que usan o tienen entre sus planes emplear el caucho proveniente del reciclaje de llantas usadas en sus procesos y productos. A continuación se presenta una tabla resumen de las visitas, cuestionarios realizados y resultados arrojados.



**Tabla 4. Empresas visitadas**

EMPRESA		USOS PARA EL CAUCHO RECICLADO
	<p>Empresa certificada para producción y comercialización de materiales pétreos, mezclas asfálticas y aplicación en la construcción de vías y obras de urbanismo.</p>	<p>Asfalto modificado para pavimentos</p>
	<p>Organización empresarial cuya misión consiste en explotar, procesar, comercializar, suministrar y aplicar técnicamente productos pétreos en frío o caliente.</p>	<p>Asfalto modificado para pavimentos</p>
	<p>Comercializadora de materiales pétreos para la construcción de edificaciones y obras civiles</p>	<p>Asfalto modificado para pavimentos</p>
	<p>Empresa de servicios, dedicada al desarrollo de proyectos de edificación e infraestructura, para transformar el entorno físico generando progreso, en beneficio equilibrado de la comunidad, los accionistas, los clientes, empleados y proveedores.</p>	<p>Asfalto modificado para pavimentos y mezclas con productos de concreto</p>
	<p>Empresa dedicada al desarrollo, producción y comercialización de superficies amortiguadoras de impacto.</p>	<p>Mezclado con aglomerantes crean baldosas para pisos en parques infantiles</p>
	<p>Iniciativa de base tecnológica que tiene por objeto, la obtención de materias primas de alto valor agregado provenientes del reciclaje de llantas en desuso por vía microondas.</p>	<p>Mediante pirolisis obtienen subproductos del caucho</p>
	<p>Empresa especializada en la comercialización y fabricación de productos de caucho para el sector automotriz, industrial y doméstico con una gran variedad de productos, apoyados en un personal competente.</p>	<p>Mezclado con aglomerantes recubren todo tipo de superficies para generar pisos suaves</p>

Las razones por las cuales la industria a nivel local y nacional estaría motivada y dispuesta a emplear el caucho reciclado de llantas en sus procesos y productos se enumeran a continuación:

- **Investigación y desarrollo:** Por la posibilidad de generar diferentes productos, innovando en la adopción de nuevos materiales y procesos.
- **Materia prima básica:** Para algunas empresas el caucho reciclado ya es la materia prima principal para la elaboración de sus productos.
- **Mejoramiento de propiedades:** El caucho reciclado ayuda a mejorar las propiedades de los productos que fabrican en la actualidad.
- **Ecológico:** El caucho reciclado proviene de transformar y aprovechar las llantas usadas por medio de un proceso de trituración mecánica, por lo tanto es un producto amigable con el medio ambiente.

### **6.3. CUESTIONARIO DE PREGUNTAS**

Para la realización de estas entrevistas se habló con personas estratégicas, en puestos directivos y con emprendedores, a quienes se les realizó una serie de preguntas basados en un cuestionario previamente desarrollado, y el cual se presenta a continuación. El tipo de preguntas varía de acuerdo al tipo de empresa, algunas respondían a la totalidad de las preguntas otras no.

#### **❖ Cuestionario para entrevistas en Conasfaltos, Procopal, Triturados y Concretos, Concreto.**

- Cuéntenos un poco acerca de la empresa, ¿Qué tipos de productos comercializa y/o fabrica?
- ¿Cuáles son las zonas de operación comercial de la empresa?
- ¿Quiénes son sus proveedores?
- ¿Qué insumos se requieren para hacer mezclas de concreto y pavimentos?
- ¿Cuál es la importancia que le dan a la innovación con nuevos materiales?

- ¿Cómo lo están haciendo?
- ¿Lo hacen ustedes mismos o a través de terceros?
- ¿Qué aditivos conoce o utilizan ustedes para la mezcla de concretos o pavimentos?
- ¿Cómo es el proceso de creación de mezclas de concreto o pavimentos?
- ¿Sabía usted que un producto derivado del reciclaje de llantas usadas, es posible usarlo como aditivo en mezclas para concretos y pavimentos?
- ¿Utilizan caucho reciclado en sus mezclas de concretos o pavimentos?
- ¿Estarían ustedes interesados en utilizar caucho reciclado en la fabricación de sus productos?

❖ **Cuestionario para entrevistas a Ecology Rubber, Procellantas y Cauchos Málaga.**

- ¿De qué se trata el proyecto que están llevando a cabo?
- ¿De dónde surge la idea?
- ¿Cuáles son sus principales proveedores?
- ¿Tienen prototipos desarrollados?
- ¿Qué cantidad de caucho reciclado compra o tiene proyectado comprar?
- ¿A qué precio?
- ¿Está vendiendo actualmente?
- ¿Cuáles son sus principales clientes?
- ¿Cómo fue ese proceso de negociación con los clientes? Fácil, difícil, manejable.
- ¿Cómo es el proceso de entrega de las materias primas por parte de los proveedores?

## 6.4. RESULTADOS

En resumen, las entrevistas arrojaron los siguientes resultados:

Las empresas asfaltadoras constructoras de vías no compran directamente el caucho para hacer las mezclas asfálticas, sino que compran la mezcla ya hecha directamente a MPI (Manufacturas y Procesos Industriales Ltda.) proveedor de mezclas asfálticas ubicado en la ciudad de Bucaramanga; esto porque se necesitan unos equipos especializados para realizar dicha mezcla, pero específicamente en Conasfaltos afirmaron que ya están realizando pruebas para ellos mismos realizar las mezclas con caucho reciclado y así construir carreteras ecológicas.

La mezcla de caucho en el asfalto para la construcción de vías como se menciona, está en proceso de prueba en algunas de las empresas visitadas. Acerca de éstas pruebas no revelaron mucha información pero sí manifestaron que en un futuro estarán utilizando el caucho en la construcción de vías debido al buen comportamiento de las pruebas realizadas. Particularmente la empresa Conasfaltos (Medellín) y Triturados y Concretos (Pereira) ya han hecho tramos de vías como prueba para estudiar el comportamiento de la mezcla asfáltica con caucho arrojando buenos resultados.

Estas grandes empresas están haciendo estudios para la utilización de éstos nuevos materiales en sus procesos con la idea de innovar día a día en éste mercado tan competitivo.

La empresa Procellantas fue creada por el emprendedor Diego Castaño como trabajo de grado para la maestría en materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana. Este proyecto es acerca del reciclaje de llantas por vía microondas, éstas actúan en el caucho calentándolo y generando una desvulcanización para obtener como resultado una serie de productos como son negro de carbono, azufre, aceites y otros más. Este proyecto se encuentra en fase de investigación y ha tenido el apoyo de diferentes entidades como son

Colciencias, Alcaldía de Medellín, además de ser ganador de varios concursos de emprendimiento.

Luego de pasar una fase de investigación y desarrollo, Ecology Rubber fue creada por el emprendedor Johan Flórez ingeniero de materiales de la Universidad de Antioquia, allí se está utilizando el caucho reciclado de llantas usadas para crear tapetes y suelos para parques infantiles, es una empresa en crecimiento que lleva aproximadamente 6 años en el mercado y consume alrededor de 1 ½ tonelada de caucho reciclado mensualmente.

Cauchos Malaca es una empresa con una trayectoria de más de 35 años en el mercado comercializando productos de caucho, recientemente vieron la necesidad de darle un uso adecuado a los desechos que surgían del proceso de fabricación de sus productos, por lo que decidieron tomar todos estos residuos, triturarlos y mezclarlos con un aglomerante para luego ser vertido sobre cualquier tipo de superficie y así generar pisos suaves, confortables y seguros para diferentes tipos de aplicaciones como puede ser en parques infantiles, gimnasios y demás.

## TEST DE PERCEPCIÓN Y SENSORIALIDAD

Durante el desarrollo del presente trabajo se estudiaron algunos datos históricos acerca del reciclaje de llantas usadas, el estado del arte evidenció los esfuerzos que se están realizando a nivel nacional e internacional para fomentar estas prácticas y las normas que están generando los gobiernos para regular la disposición de estos desechos. Luego de evaluar las características técnicas y propiedades del producto resultante del reciclaje de llantas usadas, se realizó una vigilancia tecnológica para identificar los usos industriales más fomentados a nivel nacional para el caucho reciclado y se detectaron unas capacidades tecnológicas generales de las empresas locales. Toda esta información recopilada será contrastada con los resultados del test de percepción y sensorialidad realizado con un asesor metodológico, un asesor temático y seis expertos en el área de diseño y desarrollo de productos. Los resultados, presentados en el numeral 7.2 arrojaron una cantidad de ideas que serán confrontadas contra las capacidades tecnológicas de las empresas locales.

El test se realizó en tres etapas, evaluando las probetas de caucho granulado elaboradas a partir del producto del reciclaje de llantas usadas, mezclado con un aglomerante. En cada una de estas etapas los expertos iban resolviendo un cuestionario, en el primer momento, los expertos estaban a ciegas y debían dar sus impresiones del objeto, para el segundo paso podían ver el objeto y respondían otras preguntas. Además podían olfatearlo y nuevamente sentirlo, en la tercera etapa se reunió todo el grupo, se hizo una puesta en común y se discutió acerca de nuevas posibilidades de usos para el producto.

La actividad se desarrolló, en sus dos primeras etapas, de manera individual para no condicionar las respuestas entre los expertos. Todos los participantes de este test autorizaron el uso de la información para uso con fines meramente académicos.

Esta exploración de información con los expertos en diseño y desarrollo de productos por medio del test de percepción y sensorialidad, fue muy significativa porque sirvió para contrastar los resultados aquí obtenidos, con los resultados de la vigilancia tecnológica y poder revelar de acuerdo a todas estas nuevas ideas que surgieron, con que capacidades tecnológicas cuenta la industria local para el desarrollo de nuevos productos, utilizando como materia prima el caucho reciclado de llantas usadas.

## **6.5. METODOLOGÍA**

### **6.5.1. Primera Etapa**

Inicialmente se efectúa el test de sensorialidad a ciegas, este consiste en introducir una de las probetas en una bolsa para luego responder un cuestionario. En este punto se les indica que toquen el producto, lo sientan, lo aprieten, lo doblen, lo chucen, hagan lo que quieran y traten de describir la textura y sus impresiones al palparlo.



**Ilustración 6. Test de sensorialidad**

### 6.5.2. Segunda Etapa

Luego se realiza el test de percepción, se les presenta las probetas que se trabajaron en el test de sensorialidad en diferentes colores para que las observen y las toquen nuevamente, las sientan y se solicita responder otra lista de preguntas.



Ilustración 7. Test de percepción

### 6.5.3. Tercera Etapa

Después de realizar los dos test se reúne el grupo completo, se les enseña otras probetas de diferentes tamaños, el caucho en polvo y granulado proveniente del reciclaje de llantas y se exponen una serie de imágenes de lo que se está haciendo actualmente con el caucho reciclado para luego solicitarles nuevamente que en grupo den sus impresiones e ideas de qué se podría hacer con este producto o qué nuevos usos se les ocurre podrían



dársele de acuerdo a lo observado, se hace una puesta en común y una pequeña lluvia de ideas.



**Ilustración 8. Puesta en común grupo completo**

A continuación se presenta una imagen con las probetas utilizadas durante el desarrollo del test.



**Ilustración 9. Probetas utilizadas para la realización del test**

#### **6.5.4. Preguntas test de sensorialidad**

**Pregunta 1:** Cómo describiría el objeto que está tocando en estos momentos  
¿Qué siente al tocarlo?

**Pregunta 2:** ¿Que se imagina que podría ser el objeto? ¿De qué material cree usted que está hecho?

**Pregunta 3:** De acuerdo a lo que está sintiendo, ¿Qué propiedades se le podrían conceder a este objeto? ¿Cree usted que podría tener alguna aplicación en especial? Mencione una.

#### **6.5.5. Preguntas test de percepción**

**Pregunta 1:** Ya pudiendo ver el objeto ¿Qué impresiones tiene de este? ¿Qué propiedades le concedería?

**Pregunta 2:** ¿Cuál podría ser la funcionalidad del producto? ¿Qué cree usted se podría elaborar con este producto?

### **6.6. RESULTADOS**

Los 6 expertos consultados con sus diferentes tipos de respuestas arrojaron algunos puntos que se pueden poner en común tal como se describe en la siguiente tabla.

**Tabla 5. Resultados test de sensorialidad**

<b>TEST DE SENSORIALIDAD</b>			
	<b>Pregunta 1</b>	<b>Pregunta 2</b>	<b>Pregunta 3</b>
<b>Experto 1</b>	Placa polimérica con agregados rigidizantes, como un material reciclado. Se siente frágil, suelta pequeñas partículas como polvo.	Parte de un recubrimiento para posible alto tráfico. Creo que es una mezcla de caucho y otro polímero natural con petroquímicos y residuos industriales.	Dada la dureza creo que puede usarse en suelos.
<b>Experto 2</b>	Es aglomerado, plástico, compuesto, áspero, flexible, un poco sucio, aroma maderoso, astilloso.	Madera con plástico u otro tipo de aglomerado con materiales reciclados. Debe ser algún tipo de triturado combinado con plástico o caucho.	Puede ser utilizado como deck para gimnasios es probable que sea bueno absorbiendo impactos. Es ligero, denso, puede ser utilizado para mobiliario o recubrimiento de superficies.
<b>Experto 3</b>	Es un objeto duro pero permite la flexibilidad. Se siente rugoso y con pedazos de material sobresaliendo en los bordes.	yo creo que es plástico aglomerado. Como una especie de llanta reciclada.	podría ser aislante, podría ser utilizado como piso, no se si en exteriores.
<b>Experto 4</b>	Carrasposo, rebaba, poroso, pelos, rigidez, a pesar de ser peludo y poroso, no deja residuos molestos en las manos.	Un bloque rectangular, como una muestra de algún material. Esta hecho en algún polímero.	Propiedades: rígido, resistente, liviano, aislante. Aplicación: mesas, sillas, tableros, puentes.
<b>Experto 5</b>	Áspero, duro, pesado. El objeto es áspero, al momento de tocarlo lo siento duro, tiene muchos poros, tiene un aspecto áspero dependiendo de su grosor, es flexible.	Me imagino que podría ser un bloque de aglomerado, una mezcla de componentes.	Resistente, duro, duradero. Lo aplicaría para un mesón de una mesa, base de un tablero, sillas, gabinetes, cofres.
<b>Experto 6</b>	Rugoso, flexible, siento la rebaba.	Parece ser madera pero al enterrarle el dedo me da la impresión que es plástico.	Flexible, aislante, se podría aplicar tanto para objetos de geometrías complejas, no es un objeto que la superficie se deje tratar, pulir fácil.
<b>Compilación de respuestas</b>	Material aglomerado, plástico, compuesto, flexible, duro.	Recubrimiento de alguna superficie, caucho, plástico, polímero, aglomerado.	Flexible, absorbe impactos, resistente, liviano. Uso en suelos, superficies, mobiliario, aislante, tableros, mesón.

**Tabla 6. Resultados test de percepción**

TEST DE PERCEPCIÓN		
	Pregunta 1	Pregunta 2
<b>Experto 1</b>	Larga vida útil Gran resistencia a impactos Bajo costo de producción	Suelos de guarderías, fabricas o espacios en que los impactos tiendan a deteriorar el piso. Reemplazo de capa asfáltica. Aislante térmico y de sonido en construcción.
<b>Experto 2</b>	Es un caucho aglomerado con mas caucho, parece el material que utilizan en las canchas sintéticas.	Escultura, modelado, elementos de protección, aislantes para la intemperie, mobiliario, pisos.
<b>Experto 3</b>	Es un material rígido y en diferentes colores, para mi tiene colores y textura llamativos.	para mi sigue sirviendo como piso para eventos o como aislante de sonido. Cajas para guardar objetos.
<b>Experto 4</b>	Impresión: ganas de flectarlo. Flexibles, resistente, impermeable, aislante de ruido y térmico, combustible, disminuir impactos golpes.	Suelas para zapatos, frenos para carros de rodillos, colchón para ensayos de impactos, material base para parques infantiles o de material didactico-ludico, reforzar paredes en la construcción de casas prefabricadas, pared para prueba de carros, pared contra la que chocan o impactan los carros.
<b>Experto 5</b>	Es un material flexible un poco ensuciador parece ser muy resistente y su color lo corrobora, es un material mixto un aglomerado elástico no rígido, tiene un olor fuerte a taller (caucho) dependiendo de su grosor es mas flexible.	Podría ser un material para alto impacto, se ve que es un material que perdura y dura largo tiempo, se utilizaría para superficies que requieran una resistencia alta o que tuviera mucho flujo. Con este material se podría elaborar llantas, pisos, mesas, paredes para aislar, se podría elaborar edificación aunque no sería ecológico ya que se ve que es contaminante y combustible.
<b>Experto 6</b>	Resistente al impacto, flexible, el olor me recuerda a llanta.	Pisos para amortiguar las cargas en vehículos de transporte, puede reemplazar funciones del corcho.
<b>Compilación de respuestas</b>	Larga vida util, resistente a impactos, rigido, impermeable, aislante, olor fuerte.	Suelos, superficies, aislante térmico y acústico, esculturas, mobiliario, suelas para zapatos, reforzamiento paredes, para reemplazar usos del corcho.

Se presentó una uniformidad en las respuestas la mayoría describieron como principales usos del material en superficies, como aislantes térmico – acústico, como suelas de zapatos y le otorgaron la propiedad de larga vida útil.

## 7. CONCLUSIONES

Una vez desarrollado todo el proceso metodológico y de gestión de la innovación a través de los diferentes capítulos que comprenden el presente trabajo y teniendo en cuenta el cruce de resultados entre los test y la información investigada, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

Se evidenció que no hay estudios o cifras actualizadas acerca del reciclaje de llantas en la ciudad de Medellín, se encontró que hay empresas dedicadas a estas labores, pero no se especifica muy claramente que usos le están dando al caucho proveniente de este proceso de reciclaje. Se identificó que a un futuro próximo Cementos Argos entrará a ser un gran consumidor de caucho molido, pero mientras esto sucede, no se sabe aún cuales son exactamente los usos y cantidades consumidas de este producto. Esta inquietud podría ser la base para generar un estudio posterior más a fondo para una tesis de maestría en Gestión de la Innovación.

Al realizar la búsqueda de nuevas alternativas y usos para el caucho reciclado, se evidenció que a nivel nacional ya hay empresas interesadas y que están usando esta materia prima para la elaboración de sus productos, además están invirtiendo en mejorar sus capacidades tecnológicas para la elaboración de nuevos elementos a partir del caucho reciclado. Asimismo, el realizar esta búsqueda de información por medio de expertos en diseño y desarrollo de productos con el test de percepción y sensorialidad, fue vital para ratificar los resultados de la búsqueda en la vigilancia tecnológica y así llegar a afirmar que a nivel local se cuenta con la tecnología básica para desarrollar nuevos productos que pueden convertirse en bienes con fácil acceso al mercado y con potencial de innovación.

Se desarrolló todo un modelo metodológico el cual como Gestor de la Innovación, ayudó no solo a identificar posibilidades para nuevos productos, sino que abrió todo un abanico de posibilidades de implementación en otro tipo de ideas como podría ser la generación de trabajos en conjunto, nuevas empresas, ideas de comercialización, ideas de innovación social, entre otras.

Los estudios de percepción y sensorialidad realizados con profesionales del diseño y desarrollo de productos, ofrecieron a este proyecto un valor importante en cuanto a gestión de la innovación, al poner en un contexto investigativo de carácter meramente técnico, nuevas variables desde la percepción y sensorialidad, que generan cruces alternativos de información que aportan a la posible novedad de las propuestas resultantes.

Como Gestor de la Innovación Tecnológica el haber elaborado y planteado esta metodología para la identificación de nuevos usos para el caucho reciclado, me generó un gran aprendizaje y arrojó elementos de juicio que me permitirán replicar este modelo a otros procesos, otras industrias u otros sectores donde se desee ahondar en la búsqueda de nuevos productos o en la mejora de procesos.

## BIBLIOGRAFÍA

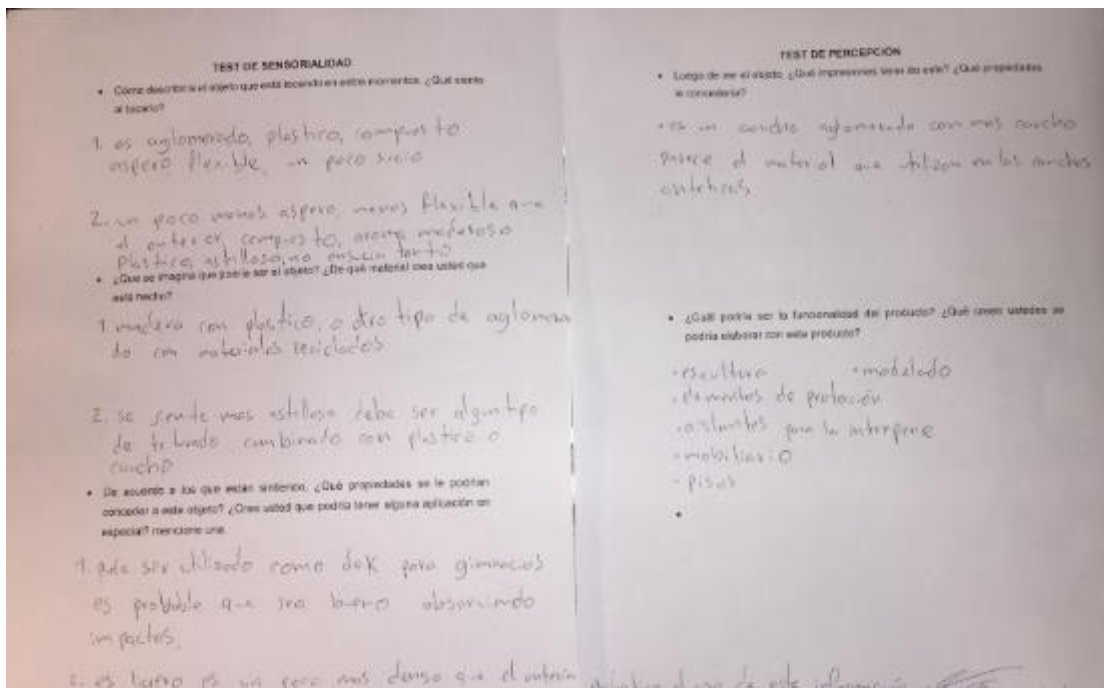
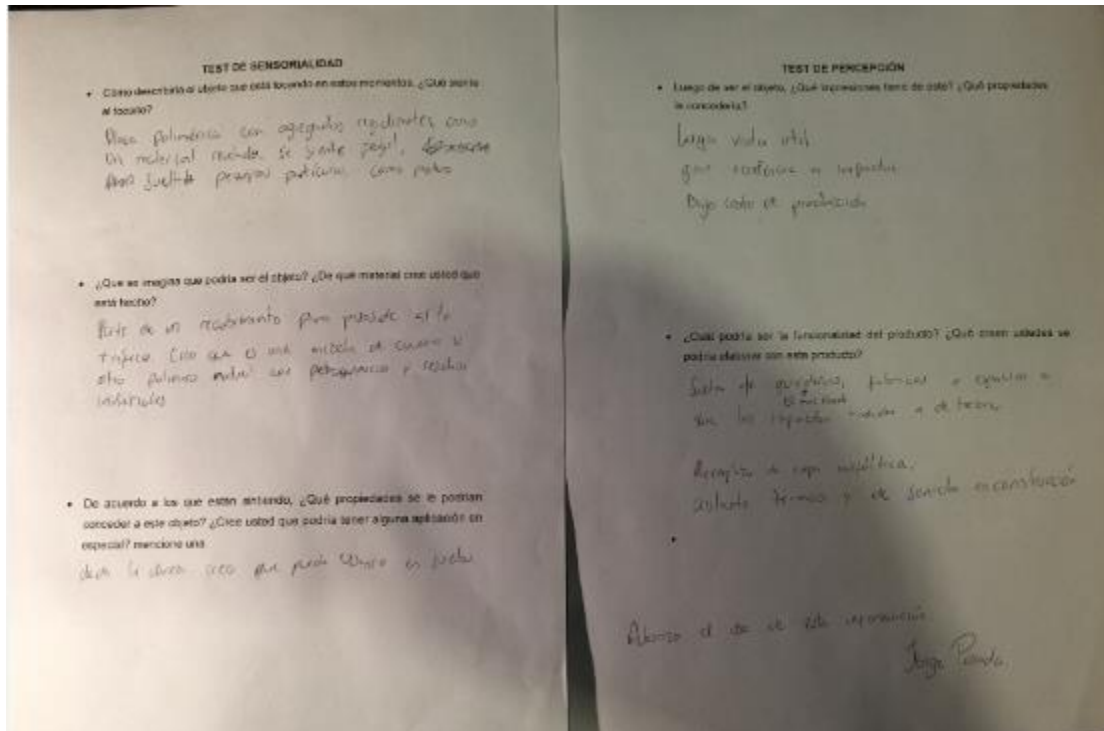
- ACOLFA. (2008). El sector automotor colombiano. *Manual Estadístico 28*.
- Cantanhede, A., & Monge, G. (2002). *Estado del arte del manejo de llantas usadas en las américas*. Lima.
- Comité Técnico De Normalización CTN. (2011). Norma UNE 166006:2011. España.
- Greenpeace. (2005). *Consejos para una vida sostenibl. 7*.
- Juan Rocío, S. (2012). Segunda vida de los nuemáticos usados. *Química viva*, 25 - 40.
- MacLeod, D., Ho, S., Wirth, R., & Zanzotto, L. (2007). Study of crumb rubber materials as paving. *NRC Research Press*, 1276-1288.
- MADS. (29 de Julio de 2010). Resolución número 1457 de 2010. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2009). *Gestión diferencial de llantas pos consumo*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2009). *Gestión diferencial de llantas pos consumo*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2009). *Gestión diferencial de llantas pos consumo*. Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- Ocampo, M., Caicedo, B., & González, D. (2002). *Mezclas asfálticas mejoradas con caucho molido proveniente de llantas*. Bogotá D.C.
- PNUD, U. T., Saniplan, A. S., & M. L. (2008). *Diagnóstico ambiental sobre generación de llantas usadas en Santafé de Bogotá*. Bogotá.
- Quintero Lopez, A., & Ramirez Salgado, J. (2012). *Diseño de un proceso logístico reversivo de llantas usadas en la ciudad de Pereira*. Pereira, Risaralda, Colombia.

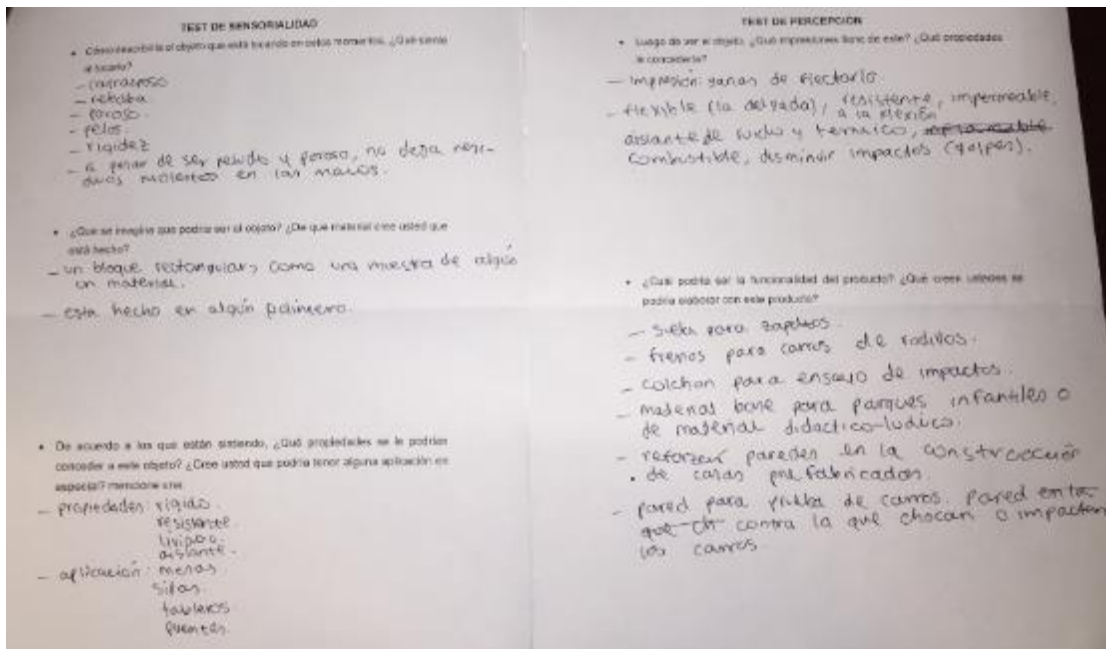
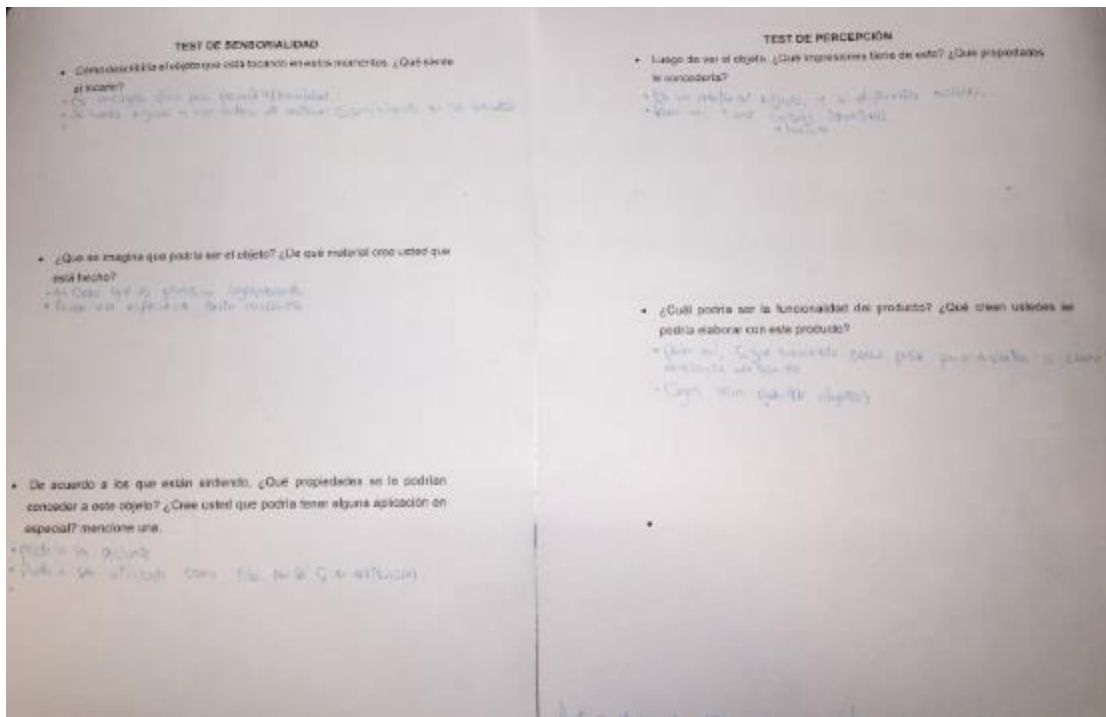
- Rondón Quintana, H. A. (2011). Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta (Gcr). *VI Jornadas de Pavimentos y Mantenimiento Vial*.
- Rubber Manufacturers Association. (2009). *Scrap Tire Markets In The United States*. Washington.
- Sadhan, K. D., Isayev, A., & Khait, K. (2005). *Rubber Recycling*. New York: Taylor & Francis Group.
- Sandoval, M. A. (10 de Febrero de 2015). Argos utilizará las llantas usadas como combustible. *El colombiano*.
- Secretaría del Medio Ambiente. (Julio de 2002). *Llantas Usadas Diagnóstico de la Situación Actual en el Distrito Federal*. México D.F. Obtenido de <http://aprismo.wordpress.com/2008/07/07/alto-a-la-quema-de-llantas-en-protestas-populares/>
- Soldevila, P. (2002). *España Patente nº WO 02/14068 A1*.
- Velasco, J. (21 de 05 de 2009). Reciclado de neumáticos para producción de asfalto. *Al día*, págs. 2-3.
- Yilmaz, A., & Degirmenci, N. (2008). Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as. *Elsevier*, 1541 - 1546.
- Zabala, A. M. (12 de 03 de 2005). Advierten contra el dengue en comunidades fronterizas. *Norte de Ciudad Juarez*.

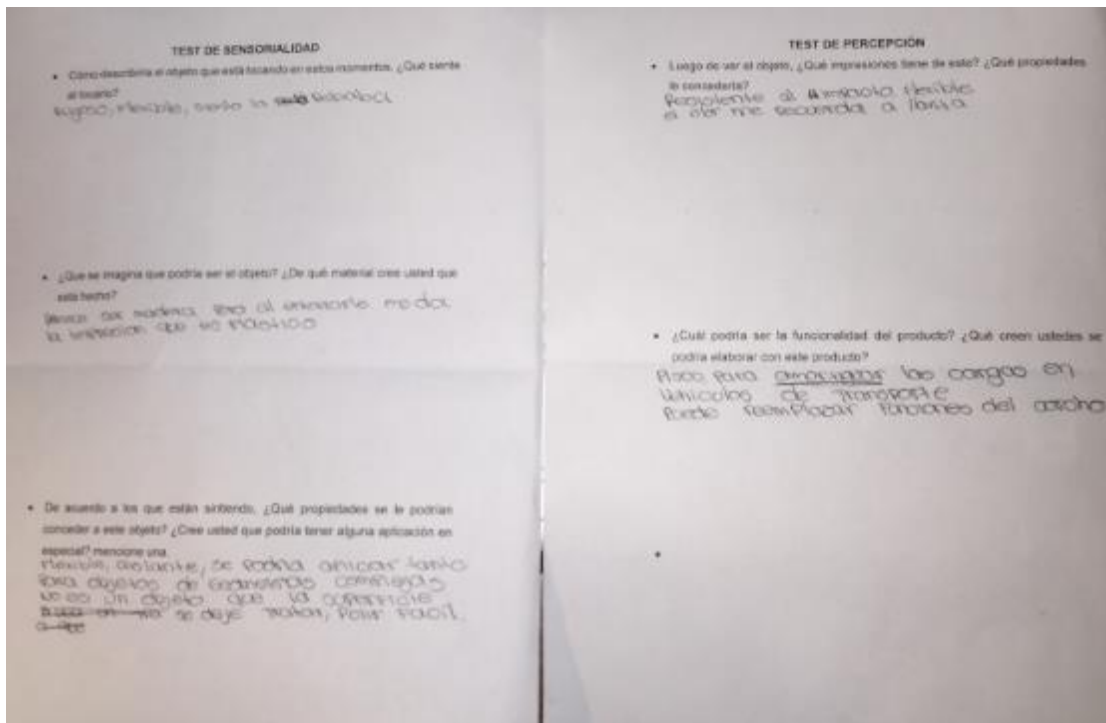
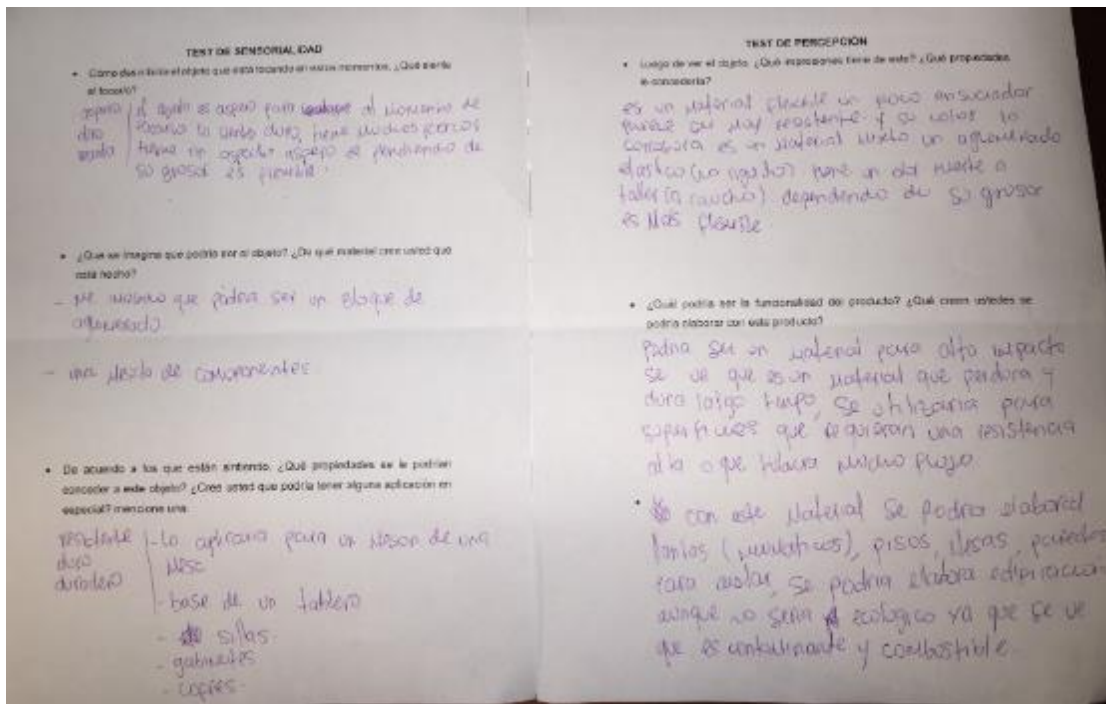


## ANEXOS

### Anexo 1. Cuestionarios test de percepción y sensorialidad







**Anexo 2. Imágenes actividad test de percepción y sensorialidad**







