



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA
QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

**“ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LAS
LLANTAS EN DESUSO”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

PRESENTA:

RESENDIZ TEJEDA VICENTE CARLOS

ASESOR: INGENIERO RUSSEL ECHEVERRIA PADRON



MÉXICO, D.F., OCTUBRE DEL 2007

RECONOCIMIENTO:

Al Instituto Politécnico Nacional, por la gran oportunidad que me dio de poder tener una formación de calidad, proporcionándome las herramientas necesarias para mi superación.
Muchas gracias.

A la ESIQIE por abrirme las puertas de sus aulas en donde pase momentos maravillosos durante mis estudios profesionales y mediante los cuales superare las adversidades de la vida.

Muchas gracias.

Agradezco a todos los profesores que me acompañaron y transmitieron sus Conocimientos en mi paso por la ESIQIE.

Muchas gracias

A mi profesor y asesor el Ing. Russel Echeverria por su apoyo que me brindo para el desarrollo de la tesis.

Muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a Dios por todo lo que me ha Dado y la posibilidad de desarrollarme en Esta vida.

A mis padres Víctor A. y Marisô, por todo su esfuerzo, apoyo, Impulso y comprensión que me brindaron en cada momento durante mi estudios, para poder alcanzar mis ideales y sueños que a ellos les fueron vedados.

A mis hermanas Araceli y Elsa por su inseparable compañía y en especial a mi hermana Dulce quien nos a dado mucha alegría con la llegada su bebe Ángel y porque me enseñó la fuerza y el deseo en la búsqueda de la superación personal.

A mi prima quien hoy está en el reino de Dios, a ti Lupita dedico en especial este trabajo, como un sueño que los dos compartimos y que no alcanzaste a ver su fin, y a ti Froy hermano inseparable a quien algún día espero ver otra vez.

Un agradecimiento especial a mi tía Carme Tejeda Téllez, por su apoyo que me brindo en mis estudios y en la impresión de esta tesis.

A mis amigos: Adriana, Verónica, Dolores, Genaro, Sahiri, y Filiberto quienes con sus consejos me han me han ayudado a ser una mejor persona.

Al Ingeniero Gabriel López Montiel, por sus sabios consejos y conocimientos que me ha transmitido para mi desarrollo personal y profesional.

Agradezco a las siguientes personas, quien con su apreciable apoyo se logro el desarrollo de esta tesis:

Doctor Miguel Eguiluz Señor
Gerente de Control de calidad.
Ingeniero Conrado Rodríguez
Director de Operaciones
Ingeniero Arturo Ruiz Ceñedo.
Gerente de laboratorio.
Ingeniero Gabriel López Montiel
Gerente de Servicio Técnico.
Ingeniero Juan Ponce
Jefe de recuperado
Técnico Ángel Flores
Técnico de laboratorio.

Por sus aportaciones y observaciones hechas en la elaboración de la experimentaciones realizadas.

Un agradecimiento a la empresa PYN, S.A. de C.V., al permitirme el uso de los equipos para el desarrollo de las muestras experimentales.

A todos ustedes muchas gracias.

Carlos Resendiz Tejeda

CONTENIDO

Lista de figuras	vi
Lista de tablas	vii
Resumen	viii
Introducción	x
CAPITULO I. ANTECEDENTES DE LA LLANTA	
I.1. Breve historio del hule	2
I.2. Periodos sobresalientes del desarrollo del hule	3
I.3. Tipos de hules	4
I.4. Panorama mundial sobre la llanta en desuso	8
I.5. Panorama nacional sobre la llanta en desuso	10
I.6. Leyes y normas internacionales y nacionales para el tratamiento de la llanta en desuso.	12
CAPITULO II. APLICACIÓN DE LAS LLANTAS EN DESUSO	
II.1. Estructura de la llanta	18
II.2. Clasificación	19
II.3. Composición	19
II.4. Usos actuales	20
CAPÍTULO III. PROCESOS DE REUSO	
III.1. Trituración mecánica	24
III.2. Trituración criogénica	25
III.3. Termólisis	25
III.4. Pirolisis	26
III.5. Incineración	27
III.6. Microondas	28
III.7. Ultrasónico	28
CAPITULO IV. SELECCIÓN DE PROCESO Y MAQUINARIA PARA EL RECUPERADO DE LOS COMPONENTES DE LA LLANTA	
IV.1. Maquinaria para el procesamiento del hule	31
IV.2. Selección del proceso de reuso	35
IV.3. Selección de maquinaria	37

IV.4. Sistema empleado para el tratamiento de la llanta	38
IV.5. Selección de la llanta a ser procesada	40
IV.6. Costos de obtener un Kg. De hule triturado, y un Kg. de acero	42
CAPÍTULO V. FORMULACIÓN Y DESARROLLO DE LA LAMINA	
V.1. Formulación	46
V.2. Aditivos de formulación	46
V.3. Desarrollo de la mezcla del hule base seleccionado y hule triturado de la llanta en desuso.	50
V.4. Caracterización de los productos	63
V.5. Aplicaciones	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS	74

LISTA DE FIGURAS:

Figura	Descripción	Página
I.1.	Árbol del hebea brasiliensis	2
I.2.	Extracción de látex	2
I.3.	Centro de acopio	8
II.1.	Conformación de la llanta	18
III.1.	Diagrama de bloques del proceso de trituración mecánica	24
III.2.	Diagrama de bloques del proceso de criogenia	25
III.3.	Diagrama de bloques del proceso termólisis	26
III.4.	Diagrama de bloques del proceso pirolisis	26
III.5.	Diagrama de bloques del proceso de incineración	27
IV.1.	Extruders	31
IV.2.	Calandrea	32
IV.3.	Calandrea forma vertical	32
IV.4.	Calandrea formas Z	32
IV.5.	Calandrea forma L invertida	32
IV.6.	Molino bambury	33
IV.7.	Prensa modelo 400 X 400	34
IV.8.	Hule triturado	36
IV.9.	Diagrama de bloques del proceso de trituración mecánica para el tratamiento de la llanta en desuso.	39
V.1.	Tabla-roca hecha a base de cemento y hule triturado	50
V.2.	Tapete antifatiga	51
V.3.	Tapete personal	51
V.4.	Tapete antiderrapante	52
V.5.	Tapete de promoción	52
V.6.	Diagrama de bloque del desarrollo de las laminas	57
V.7.	Molineo de hule virgen	59
V.8.	Hule natural vulcanizado	59
V.9.	Hule SBR vulcanizado	59
V.10.	Molineo de hule virgen y hule de llanta triturado	60
V.11.	Hule natural vulcanizado	61
V.12.	Hule SBR vulcanizado	61
V.13.	Determinación de dureza	64
V.14.	Determinación de porcentaje de desgaste por abrasión	65
V.15.	Determinación de dureza	67
V.16.	Muro de contención con placa de hule como absorbedor	69
V.17.	Lamina de absorbedor de vibraciones	70
V.18.	Bloque de nylon recuperado de la llanta en desuso.	70

LISTA DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
I.1	Tipo de llanta y su porcentaje de uso.	10
I.2	Destino de la llanta.	11
I.3	Problemas ocasionados por la llanta en desuso y resultados	13
I.4	Leyes y reglamentos para las llantas en desuso	14
I.5	Participantes en la inversión para el tratamiento de la llanta en desuso	14
I.6	Artículos de la constitución aplicados a los tratamientos Residuos sólidos	15
II.1	Composición química de la llanta.	20
V.1	Hules de fácil disponibilidad en México y su costo poR Kg.	54
V.2	Formulación de la lamina	55
V.3	Costos de materia prima.	68

RESUMEN

Para la actual situación de la llanta en desuso, es necesario tener un conocimiento más amplio sobre los problemas generados y cuales son los métodos empleados en la actualidad para su tratamiento; así, como de las aplicaciones que se han sugerido para poder disminuir su ya difícil situación .

En base a lo anterior se planteo como primeo objetivo el conocer cuales son las alternativas de aprovechamiento de la llanta después de ser desechada, como segundo objetivo y de acuerdo a la disponibilidad de equipos, se propuso reusar el hule de la llanta triturada como relleno dentro de una formulación con hule virgen para la formación de una lamina que pueda se utilizada como un tapete y como una suela.

El desarrollo de esta tesis se divide en cinco capítulos como sigue:

En el capitulo I, se menciona parte de la problemática provocada por la llanta vieja o en desuso, un aproximado de la cantidad generada anualmente en algunos países, tanto en el continente Europeo como de América, cuales han sido las acciones que han tomado, así como cuales han logrado generar leyes y normas dirigidas especialmente al tratamiento de la llanta.

Continuando con el capitulo II, se muestra la estructura de la llanta, cuanto tipos existen y cuales son las principales aplicaciones que se le da después de que es desechada.

El capítulo III, describe los principales métodos conocidos en la actualidad para el tratamiento de la llanta en desuso.

En el desarrollo del capitulo IV, se hace la selección del método más adecuado para el tratamiento de la llanta en desuso, y en base a este método se buscó en el

mercado la maquinaria más adecuada, así como los gastos de inversión, mantenimiento, mano de obra, así como de cuanto cuesta obtener un Kg. de hule, y un Kg. de acero.

En el capítulo V, se menciona los principales aditivos empleados para la formulación del hule, se sugiere la aplicación del hule triturado como relleno en hule virgen para formar laminas que puedan ser empleadas como tapetes y suelas, se describe la obtención de dichas laminas, y se determinan las principales características como dureza y desgaste a la abrasión.

En base a los resultados de la determinación hechas a las laminas, se puede concluir que estas cumplen con el objetivo del uso propuesto, demostrándose así la posibilidad de emplear el hule triturado como relleno, y que esta presentación, puede ayudar a encontrar más aplicaciones de la llanta vieja o en desuso.

Siendo la ventaja principal el costo beneficio de disminuir parte de la problemática ocasionada a la sociedad y al medio ambiente por la acumulación de la llanta en desuso.

INTRODUCCIÓN

Sin duda la llanta desde su creación, ha sido uno de los productos con mayor importancia en el desarrollo de la vida diaria del hombre.

Sin embargo la dificultad que presenta la llanta hoy en día, es la imposibilidad de reciclarla en sus principales componentes y que estos puedan ser emplearlos en otras áreas de la industria.

Los problemas más recurrentes son:

Contaminación visual: muchas veces, este problema se puede apreciar en la calle donde sin ninguna restricción son tiradas.

Disponibilidad de espacios: los centros de acopio para las llantas, hoy en día, enfrentan serias dificultades principalmente la disminución del espacio para poder seguir albergando más llantas.

Proliferación de mosquitos transmisores de enfermedades y de roedores transmisores de la rabia.

Contaminación hacia la atmósfera: esta es uno de las más críticos, debido a que cuando se quema una llanta se generan gases altamente tóxicos. Entre otros.

Debido a esto surgió la necesidad de dar una solución a estos problemas, creándose diferentes métodos, sin embargo aun son insuficientes y poco confiables.

Es evidente que la tecnología juega uno de los papeles más importantes en la solución al problema de las llantas, sin embargo los costos de inversión que implica en la adquisición de los equipos existentes diseñados especialmente para darle un tratamiento a la llanta, son desalentadores, por lo que es necesario continuar en el desarrollo de tecnología más económica, eficiente y segura.

CAPITULO I

ANTECEDENTES DE LA LLANTA.

I.1. Breve historia del hule (wiki/caucho/2007)

Se sabe que fueron los nativos del continente americano los primeros en usar el hule natural. Civilizaciones del periodo prehispánico como los Mayas, Incas y Aztecas, lo empleaban para elaborar la pelota que usaban en sus juegos, así como para la protección de sus utensilios contra la humedad.

Al descubrimiento del continente Americano por los Europeos, propicio también el conocimiento de dos tipos de hule provenientes de árboles localizados en México y Brasil, el primero conocido como “Castilloa Elastica” y el “Hevea Brasiliensis”. Sin embargo para Europa no tuvo gran importancia hasta que se logró encontrar la manera de poder procesarlo mediante métodos sencillos de vulcanización, aumentando las múltiples posibilidades de aplicación

En la figura I.1., se aprecia la corteza del árbol hebea brasiliensis, y en la figura I.2., se aprecia como se extrae de la corteza del árbol, el látex, empleado para formar el hule.



Figura I.1. Árbol del Hebea brasiliensis



Figura I.2. Extracción del látex.

I.2. Periodos sobresalientes del desarrollo del hule (cu.libros_1/ciencia,2007)

A continuación se muestran las fechas más importantes en las cuales, la ciencia logró dar un gran paso en el descubrimiento de nuevos hules, procesos de transformación así como de la invención de la llanta.

En **1819** en Inglaterra, Thomas Hancock desarrollo uno de los primeros procesos para la transformación del hule.

En **1844**, Goodyear patenta la vulcanización del hule.

En **1876**, Henry Wickham, logro llevar de forma ilegal una gran cantidad de semillas a Londres donde logro plantarlas con gran éxito y es a lo que hoy se conoce como uno de los más grandes monopolios en producción de hule.

En **1888**, John Boy, Auspiciado por Dunlop crea los neumáticos para bicicleta.

En **1910**, el reciente invento del automóvil logra la producción de llantas en gran escala

En **1927**, químicos alemanes desarrollan el hule sintético dirigidos por el profesor Karl Ziegler.

En **1931**, Wallace h. Carothers desarrolla el neopreno auspiciado por Dupont.

Cabe mencionar que, bebido a la segunda guerra mundial, países como Estados Unidos de América, tuvieron problemas con las provisiones del hule, lo cual los obligó a dar un avance en sus tecnología y conocimientos para poder fabricar su propio hule sintético.

I.3. Tipos de hules

Día con día el hombre siempre ha buscado su comodidad, es decir tener una mejor calidad de vida, apoyándose en los recursos naturales y sintéticos, así como de la tecnología para su transformación. Un de los recursos naturales es el petróleo, del cual se obtiene una gran cantidad de productos dirigidos a diferentes sectores de la industria, una de las más importantes es el área del plástico, el cual sin duda está dejando una huella importante en el desarrollo de la vida humana.

Los plásticos han pasado a denominar el tiempo actual como la era del plástico, ya que por su capacidad de ser modificado en sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, permite darle diferentes aplicaciones.

Tan solo se estima que en México se consume 15 Kg. anuales de plástico por persona, y que en un futuro aumente. Otro producto que nace del petróleo es el hule sintético, el cual surge como imitación basando en la estructura del hule natural. Las aplicaciones más importantes del hule han sido dirigidas a la fabricación de ligas, pelotas de golf, suelas de zapatos, mangueras para jardinería y solventes, tapetes, bandas sin fin, sellos, empaques, recubrimientos de alambres, partes automotrices, juntas, gomas de mascar, discos de acetato, **llantas**, etc.

A continuación se verá los tipos de hules naturales y sintéticos existentes hoy en día.

Hule natural (García Avila, 1977)

En la actualidad existen diferentes tipos de hules naturales que en cuestión de propiedades son similares, y lo único que los diferencia es su grado de pureza, estos se conocen como, hojas ahumadas, crepé pálido grueso, crepé pálido delgado, crepé café grueso, crepé café delgado, crepé ámbar delgado, crepé ámbar pálido delgado, crepé corteza plano y crepé ahumado puro.

Hules sintéticos (Morton, 1973 ; Babbit O., 1978)

Hule acrílico: Dos de las ventajas que tiene este hule, es su resistencia a las altas temperatura y a los aceites, además, por ser soluble en solventes como, acetona, etil-cetona, tolueno, butil-acetato, alcohol metílico, benceno, tetracloruro de carbono, metil-etil-cetona y percolor etileno, permite usarlo en la industria de la pintura. Este hule contiene dobles ligaduras y es insaturado, permitiendo obtener un material suave o rígido.

Hule butadieno-estireno: De las propiedades más importantes que tiene este hule, es la temperatura de transición vítrea, la cual le ha permitido ser de los más usados para la fabricación de la llanta.

Hule neopreno: Este hule permite ser maquinado en sistemas de extrusión, moldeo por prensado, así como aplicarlo en cables, adhesivos, industria de la transformación. Etc.

Hule cloro-butilo: Este hule parte del hule butilo, por lo que ambos tienen propiedades y estructura química parecidas, las principales propiedades que posee son, resistencia al calor, resistencia a la flexibilidad, baja permeabilidad a los gases, etc. También tiene habilidad para co-vulcanizar con otro polímero in-saturado, logrando hacer un material excelente para cubiertas internas en llantas de transporte de pasajeros.

Hule etileno-propileno: Cuando se va a emplear este hule, primero se elige que porcentaje se requiere de cada uno de los monómeros, sin embargo en la industria es muy frecuente encontrar una mezcla de 50/50 a 40/60 respectivamente, cabe mencionar que las propiedades del producto final dependerán de dicho porcentaje, tiene una excelente resistencia a la degradación ocasionada por calor, luz, oxígeno y ozono, y es usado en llantas, aparatos domésticos, cubiertas, almohadillas, objetos recreativos, etc.

Hule isopreno: En la estructura química de este hule, se encuentran una alta cantidad de dobles enlaces, ocasionando que el material tenga reactividad con el oxígeno y con el ozono degradándolo muy rápido, un ejemplo de este problema es cuando empieza a presentar cuarteaduras. Dicho problema podría ser atacado con antioxidante que puedan detener la reacción de los radicales libres. Usualmente es empleado en las llantas por la baja histéresis que presenta.

Hule butadieno: La característica que se hace notar en este hule es su alta resistencia al desgaste, motivo por el cual este es muy usado por las empresas llanteras, colocándolo en la superficie de rodamiento.

Hule nitrilo: Se dio a conocer principalmente por su gran resistencia que presenta a los aceites, dicha característica es variada de acuerdo al contenido de acrílo-nitrilo, considerándose un rango del 50 al 18% del contenido de acrílo-nitrilo en una formulación, y se puede dividir en medio alto, medio, medio bajo y bajo. Es importante mencionar que el uso del hule nitrilo dependerá de dicho porcentaje, por ejemplo, si este contiene un alto porcentaje de acrílo-nitrilo, el hule será empleado para contener aceites, combustibles, combustibles con altos contenidos de aromáticos y solventes. Cuando el porcentaje es menor en grado medio, puede transportar combustible que contengan un bajo contenido de aromáticos. Finalmente cuando el porcentaje es bajo el material está en condiciones de trabajar a bajas temperaturas. Las características que puede mejorar dicha combinación son, resistencia a los aceites, combustibles, a la tensión, a la elongación, a la abrasión, permeabilidad de gases, altas y bajas temperaturas y buena resiliencia.

Hule butilo: Las principales características de las que goza este hule son, baja permeabilidad a los gases, estabilidad térmica, resistencia a la cuarteadura ocasionada por el ozono, alto coeficiente de fricción, alta absorción de la vibración y resistencia química. Usualmente es usado en la industria llantera al igual que el hule cloro butilo.

Thiokoles: Este es producido a través de polisulfatos como el tetrasulfato de sodio y etileno diclorado. Debido a la alta resistencia que presenta, se emplea para fabricación de mangueras para gasolina y aceites, también tiene baja permeabilidad a gases.

Uretanos: Las características notables de este hule son, su resistencia a la abrasión, aceites y solventes, y se obtiene tomando como base el bajo peso molecular de el poliéster ó polieter.

Las aplicaciones más conocidas son en la industria del transporte, sellos, hojas calandreadas, protección de componentes electrónicos, partes mecánicas de ingeniería, etc.

Hule silicón: La principal característica que sobresale de este hule, es la resistencia a la temperatura, cabe mencionar que dicha resistencia puede cambiar si el hule esta en estado estático o en movimiento, los rangos que puede soportar son de 65.6 a 315.6 °C sin movimiento y 37.7 a 315.6 °C en movimiento, debido a estas características, las aplicaciones más usuales son en naves espaciales, industria automotriz aparatos electrodomésticos, industria eléctrica e industria de la construcción. A diferencia de otros hules el hule silicón vulcaniza con peróxidos, además cuenta con características no tóxicas que le permiten ser aplicado en, tubos médico, máscaras para gas, implantes médicos, etc.

Sin duda una gran trayectoria y desarrollo ha presentado el hule, tanto en propiedades físicas, mecánicas y química, así como en usos y la tecnología para su procesamiento. Sin embargo hoy en día, el destino final de muchos de estos hules, cuando han cumplido su ciclo de vida, es en algún lugar de la calle o un tiradero, volviéndose un problema latente, debido a sus estructura química difícil de deshacer y su lenta degradación. El ejemplo más notable es la llanta vieja ò en desuso.

I.4. Panorama mundial sobre la llanta en desuso

La llanta en su fabricación contiene diferentes tipos de hules que por su estructura química es difícil reciclar, y su incremento como desecho es una situación problemática mundial hoy en día, debido a que muchos países aun no saben como manejarlo, que uso y proceso de reuso aplicar, que no sea demasiado caro. En la figura I.3., se muestra un centro de acopio de las llantas que ya cumplieron su ciclo de vida.



Figura I.3. Centro de acopio de llanta

inti.org.ar/(2006)

Anualmente se generan grandes cantidades de llantas en desuso, por ejemplo en Estados Unidos de América, se generan aproximadamente 240 millones de llantas en desuso cada año, en Argentina 100000 toneladas anuales, Brasil 15 millones de unidades, Cuba un millón de unidades, en Europa se generan alrededor de 120 millones de unidades, y son pocos los países, que realmente están trabajando en encontrar una solución inmediata, un ejemplo es Chile, este ha arrancado con un proyecto en el cual se involucra la cementera “Melón”, dicha cementera hizo un pacto con una llantera para que esta le proporcione la llanta y sea usada como fuente de energía para la producción de cemento con el permiso del gobierno chileno, considerando que se tendrá cuidado con la emisión de contaminantes al medio ambiente.

En Estados Unidos de América, los estados de Arizona, Florida, Oregon y Texas, actualmente están realizando proyectos para solucionar los problemas.

En British Canadá, las recicladoras han grabado los neumáticos con un costo de \$5 dólares canadienses, para financiar así su almacenaje, recolección, acopio, transporte y disposición final.

En Francia, la empresa ACIAL ha propuesto el uso de la llanta vieja para construir una pantalla acústica, la cual por sus propiedades y su no contaminación, ha funcionado de manera exitosa, valiéndole el premio Decibelio de Oro del Consejo Nacional del Ruido al Sr. Beyler inventor de este método.

España se ha enfrentado también con problemas de esta índole, anualmente se generan 10 millones de neumáticos, por lo cual el plan Nacional de Neumáticos Fuera de uso (PNNFU)2001-2006 ha planteado sus objetivos los cuales prohíben el vertido como punto principal.

El (PNNFU)2001-2006, autorizado por el gobierno en octubre del 2003, pretende aplicar el sistema de reciclado conocido como las "TRES R", que consiste en:

Reducir: Reducir el desgaste de los neumáticos, teniendo cuidado en la forma de conducir, es decir, no manejar de manera agresiva.

Reutilizar: Reencauchar los neumáticos que no están muy dañados, esto lo determinan mediante un sistema de exámenes detallados a cada neumático que es recolectado, siendo primero su apariencia la que definirá si debe pasar a que le realicen dichos exámenes.

Reciclar: Recuperar la mayor cantidad posible de los materiales constituyentes del neumáticos. (base_datos/doc,2007)

I.5. Panorama nacional sobre la llanta en desuso

México no está exento, también tiene serios problemas, reportes recientes indican que en la República Mexicana se generan alrededor de 25 millones de llantas viejas que van a parar a cualquier lugar y de las cuales se estima que 4 millones se encuentran en el D.F. sin tener un control sobre ellas.

La tabla I.1., muestra cuales llantas son las que tiene un mayor porcentaje de consumo :

Tabla I.1. Tipo de llanta y porcentaje de uso.

Porcentaje de uso (%)	Tipo de llanta
91	camiones pesados, camionetas, carros, etc.
9	aviones, equipos de construcción, motocicletas.

Fuente: camara nacional de la industria hulera. 2002

Cabe mencionar que de la tabla anterior, las que tienen un mayor volumen de desperdicio son las de automóvil, es evidente que influye mucho el como se conduce un automóvil, ya que de esta manera se refleja el desgaste de la llanta y cada cuando se realiza el cambio de las cuatro llantas.

En la tabla I.2., se puede apreciar cuales son los lugares a donde van a parar las llantas viejas o en desuso.

Tabla I.2. Destino de la llanta

Porcentaje (%)	Destino
91	Tirados sin control.
5	Renovado
2	Generación de energía
2	Centro de acopio

FUENTE:andellac/www.sma.df.gob.mx 09 de abril del 2004

La Dirección General de Servicio Urbanos estimo en el 2002 una recuperación de aproximadamente 3000 llantas cada día, las cuales son revisadas y en función de su estado físico son enviadas a empresas reencauchadoras, para su reparación partiendo del casco, el cual se debe encontrar en buen estado, si es así, se le coloca hule nuevo y se vulcaniza y lista para ser usada nuevamente como neumático. Un punto que es interesante mencionar, es que esto se podría volver un problema tanto en la generación de más basura al final de su vida útil en el país donde se produce, así como a los que se importa por que simplemente es un transferencia de basura de un lugar a otro y por supuesto un impacto a las ventas de las llanteras. Las llantas que no aprobaron su revisión, son trituradas para uso de relleno sanitario, debido a que éstas tienen un poder calorífico de 31,400 Kj/Kg encontrándose cerca del petróleo el cual tiene un poder calorífico de 39,500 Kj/Kg se emplean para la generación de energía, sin embargo el problema que representa este uso, repercute en la emisión de una alta cantidad de gases tóxico. Otras son enviados a centros de acopios, pero la gran mayoría son tiradas en la calle sin ningún control sobre ellos. (df.gob/2002)

Por otro lado la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), estimo en el 2004, la generación de 40 millones de llanta fuera de uso anualmente, de las cuales solamente una de cada 10 llantas es recuperada ò enviada a un centro de acopio. (Copyright © Grupo Reforma Servicio Informativo , 2007)

Debido a lo anterior, se ha buscado que destino darle a las llantas por ejemplo:

En Cd. Juárez Chihuahua, la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, creo el proyecto de “MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LLANTAS USADAS”, consistiendo en recuperar, triturar y disponer para rellenos sanitarios, implementándose en 1994 un centro de acopio, así como la realización de campañas(df.gob/2002).

En Cd. Nuevo Laredo, Tamaulipas, se inició el proyecto "INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE SERVICIOS INTEGRALES DE ASÉO PUBLICO" En La Ciudad, aplicando el triturado para después disponerlo en rellenos sanitarios. (df.gob/2002)

Se tiene conocimiento que entran al estado de Nuevo León a través de Texas grandes cantidades de llantas usadas para venderse en esta entidad, por lo que se ha desarrollado el “PLAN ESTRATÉGICO AMBIENTAL DE NUEVO LEÓN-TEXAS”, iniciando labores conjuntas en la solución de este problemática. (df.gob/2002)

I.6. Leyes y normas internacionales y nacionales para el tratamiento de las llantas en desuso.

La situación en México, es que aún carece de un marco legal, así como de normas que se refieran especialmente al tratamiento y disposición de las llantas en desuso, por lo que se considera que los materiales que sean de lenta degradación tendrán que sujetarse a la **Norma Oficial Mexicana “NOM-052-ECOL-1994”**, con respecto a los desechos sólidos.

La dificultad que implica el poder general una Ley de Residuos Orgánicos referidos especialmente a las llantas, es por la falta del conocimiento sobre el tema.

En la tabla I.3., se muestran cuales son los problemas que surgen por la llanta en desuso.

Tabla I.3. problemas ocasionados por la llanta en desuso y sus resultados

Problema	Resultado
Condiciones ambientales del lugar donde se juntan.	Este problema resulta cuando los neumáticos se mezclan con diferentes desechos sólidos generando riegos de diferentes magnitudes.
Aumento del volumen y espacio ocupado por estos.	En los tiraderos como no se cuenta con un sistema que minimice en volumen los neumáticos cada vez estos espacios se llenan más rápido.
Efecto en el medio ambiente	Por la mezcla con otro residuos sólidos el riesgo de generar enfermedades cada vez más difíciles de controlar es más grande.
Situación económica y comercial	La forma o patrón de producción así como de su consumo y además de los productos que son importados de otros países, cuando cumplen con su tiempo de vida pasan a formar parte de los residuos sólidos difíciles de controlar.
Estructural	Problema ocasionado por la ausencia de una estructura dedicada especialmente a resolver este problema, tales como instituciones, tecnología y recursos económicos.
Legal	Los marcos legales bajo los cuales se deben implementar leyes, que deberán ser operativas para este problema y un marco jurídico sobre la materia que las represente.

En este sentido, es necesario que todos los estados de la República Mexicana colaboren en conjunto, y así poder generar un plan de manejo y disposición dirigido única y exclusivamente a la llanta y que sea ampliamente difundido.

Es interesante ver que en otros lugares del mundo se están creando leyes de regulación y reglamentos que son dirigidas especialmente al tratamiento de la llanta en desuso como se puede apreciar en la tabla I.4.

Tabla I.4. Leyes y reglamentos para la llanta en desuso.

PAÍS	TIPO DE REGULACIÓN	AÑO EN QUE SE ESTABLECIÓ LA REGULACIÓN
Alemania	Ley	1972
Canadá	Ley	1980
Dinamarca	Leyes	1973
Estados Unidos	Ley	1976
Hong Kong	Leyes	1991
Indonesia	Reglamentos	1994 y 1995
Malasia	Reglamentos	1989
Tailandia	Leyes	1992

Fuente: Probst K.N. y Beierle T.C., The Evolution of Hazardous Waste Programs: Lessons From Eight Countries. Center for Risk Management Resources for the Future. 2001. <http://www.rff.org/news/releases/evolhwprog.htm>

El hecho que a permitido lograr esto ha sido la intervención de la inversión privada y publica como se logra apreciar en la tabla I.5.

Tabla I.5. Participantes en inversión para el tratamiento de la llanta en desuso.

PAÍS	Inversión pública	Inversión Privada	Inversión Publica/Privada
Alemania			+
Canadá			+
Dinamarca	+		
Estados Unidos		+	
Hong Kong			+
Indonesia		+	
Malasia		+	
Tailandia			+

Fuente: Probst K.N. y Beierle T.C., The Evolution of Hazardous Waste Programs: Lessons From Eight Countries. Center for Risk Management Resources for the Future. 2001. <http://www.rff.org/news/releases/evolhwprog.htm>

En nuestro caso han sido la Constitución Política y La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente quienes han tratado de regular los desechos sólidos. La tabla I.6., muestra cuales son las disposiciones indicadas en las Normas Constitucionales en Materia Ambiental de la Agenda Ecológica parte II, y en el capítulo I de las garantías individuales, artículo 25; capítulo II del poder legislativo, sección III de las facultades del congreso, artículo 73; título quinto, de los estados de la federación y del distrito federal, artículo 15, párrafo II; y título séptimo, previsiones generales, artículo 124; las cuales enmarcan la gestión de los residuos sólidos en México.

Tabla I.6. Artículos de la constitución política aplicados al tratamiento de los residuos sólidos.

Artículo	Disposición constitucional
115	Los municipios tendrán a su cargo los servicios de limpia (1983), recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos (1999).
124	Las facultades que no estén expresamente concedidas por la Constitución a los funcionarios federales se entienden reservadas a los estados
73	El Congreso tiene facultades para expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, los Gobiernos de los Estados y de los Municipios en el ámbito de sus competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación del equilibrio ecológico.
25	Bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía sujetándolas a las modalidades que dicte el interés público y al uso , en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.

Fuente: Constitución Política/2001; Agenda ecológica, 2005.

Cabe mencionar que la tabla anterior hace referencia a residuos sólidos que tienen una estructura química dócil es decir tratable y que por consiguiente no su tratamiento no es difícil.

Es notable que para lograr una solución a estos problemas, es necesario elaborar leyes, las cuales se deberán cumplir estrictamente, y que la ayuda debe ser proporcionada tanto por el sector público como el privado, además de desarrollar una conciencia personal sobre esta situación, por que por más leyes y normas que existan si no se cumplen simplemente no servirán de nada.

CAPITULO II

APLICACIÓN DE LA LLANTA EN DESUSO.

II.1. Estructura de la llanta

Para saber cual es el la aplicación más adecuada sobre el material recuperado de la llanta, es necesario hacer una clasificación de estas, así como saber su composición, en la figura II.1, se muestra la conformación de la llanta.

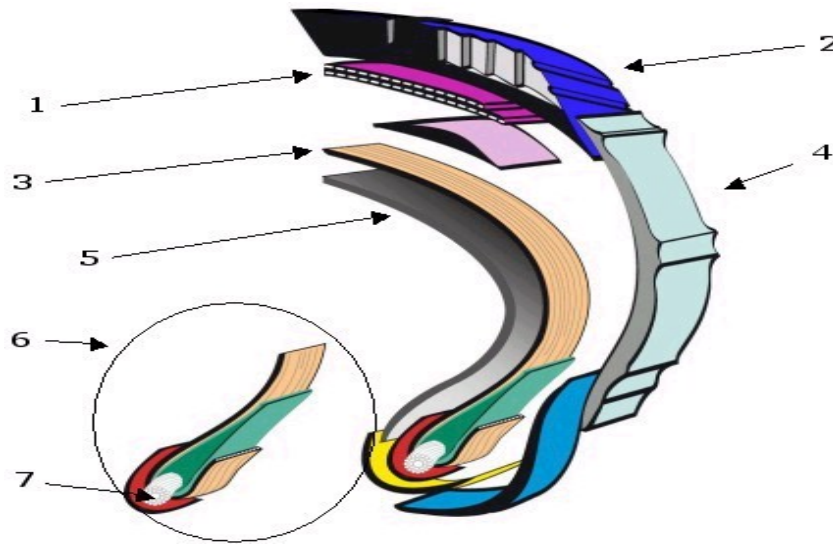


Figura II.1. Conformación de la llanta.

Michelintransport.com, 2006

- 1) Lonas de cima, (hule natural)
- 2) Bandas de rodamiento, (mezcla de hule natural y hule sintético)
- 3) Lonas de carcasa,(fibra textil (nylon) calandrada con hule, el cual funge como el casco).
- 4) Flanco, (mezcla de hule natural y hule sintético)
- 5) Goma interior ò forro.
- 6) Zona baja, la mayor parte de la resistencia del neumático.
- 7) Aro de acero, laminados con hule, soportarán el peso.

II.2. Clasificación

En la actualidad existen diferentes tipos de llantas, las cuales son diseñadas de acuerdo a las necesidades existentes, por ejemplo, el tipo de transporte a mover, condiciones ambientales, tipo de superficies, etc. Por lo que para su fabricación se consideran las siguientes características necesarias en la llanta:

- Agarre en diferentes superficies
- Resistencia al impacto
- Resistencia mecánica
- Resistencia a la tensión
- Resistencia a los cambios de temperatura
- Impermeabilidad
- Resistencia a la intemperie (rayos UV)
- Resistencia a la humedad.

La llanta se clasifica de acuerdo a su uso en llanta para, automóvil, autobuses camionetas, agrícolas Industrial Montacargas, motoconformadoras, Grúas, Cargadores, Tractores y Mueve tierras.

II.3. Composición

Cabe recordar que el hombre en su afán de optimizar busca siempre innovar, en base a esto ha desarrollado nuevas llantas con formulaciones que permiten tener características de durabilidad superiores a las llantas actualmente usados proporcionándole un tiempo de vida más largo.

En la tabla II.1., se muestra la composición química de la llanta de camión y de automóvil.

Tabla II.1. Composición química de la llanta

Material	Composición (%)	Composición (%)
	camiones	automóviles
Caucho Natural	27	14
Caucho sintético	14	27
Negro de Humo	18	28
Acero	15	15
Rellenos	16	16

buffalo.edu.htm/2002.

II.4. Usos actuales

Cemex ®, ofreció una solución que consistió en incinerarlos por medio de hornos especializados para la producción de energía calorífica, este método ya conocido se empleaba desde hace 15 años en Europa y Estados Unidos de América, implementándolo Cemex ® desde 1991. (Cemex/2002)

La ventaja para Cemex ® es el costo cero de adquisición así como recibir las llantas en los centros de acopio ubicados en la Cd. De México y en Huichapan, Hidalgo.

Los hornos cementeros están ubicado en: Huichapan, Hidalgo. Y en Ensenada, Baja California

Para el desarrollo de este proyecto, se recibo apoyo de las llanteras principales como, Goodyear ®, Euzkadi ®, Continental ®, Tornel ®, Uniroyal ® , Firestone ® y Bridgestone ®.

Cabe mencionar que algunas de las empresas anteriores ya dejaron de existir y actualmente las únicas empresas que están vendiendo llantas en México son,

Compañía Hulera Tornel, Bridgestone/Firestone, Continental Tires de México e Industrias Michéln. También se recibió apoyo de sectores como :

Secretaria de desarrollo social (Sedesol).

Cámara nacional de la industria hulera. (CNIH)

Asociación nacional de la llanta (Andellac)

Cámara nacional de comercio (Canaco)

Cámara nacional del auto transporte de carga (Canacar)

Cámara nacional del auto transporte de pasaje y turismo (Canapat)

Sin embargo no solo a sido esta la única aplicación de la llanta, también se ha utilizado para la construcción de casa usando la llanta completa, aislador acústico antivibratorio, tapetes, asfalto para drenaje de agua, impermeabilizantes, protección contra la humedad, pisos en áreas deportivas, piso para criaderos, combustible alterno, relleno sanitario, fosas sépticas, etc.

Cabe mencionar que los usos anteriores, solo hacen referencia a la llanta completa, sin embargo, la llanta no solo esta constituida de puro hule, también contiene acero y nylon en su estructura y es posible que estos también se puedan recuperar.

El acero por ejemplo, es usado principalmente en la industria de la construcción, o para maquinaria de ingeniería.

La función que tiene el acero en la llanta, es dar resistencia al peso , y el numero de vueltas que tenga el aro de acero, va de acuerdo al tipo de llanta, su ventaja es que presenta facilidad para su recuperación, ya que no reacciona químicamente, además de que no representa un elevado costo tal proceso, por lo que las posibilidades de reusarlo son amplias.

El nylon es una fibra que se emplea con el objeto de dar un soporte a la presión generada en la llanta,

El nylon es laminado en hule butilo y posteriormente se lamina con el hule natural. Debido a que esta fibra no reacciona químicamente con el hule, también es posible que se recupere como producto solo y darle un nuevo reuso.

Como se puede apreciar, son muchas las formas en que es posible usar una llanta vieja, el problema es que la gente aun no está familiarizada con este tipo de información y simplemente son tiradas en la calle sin ninguna restricción, ocasionando el aumento de dicho problema.

CAPITULO III

PROCESOS DE REUSO

En la actualidad existen diversos métodos mediante los cuales es posible darle un tratamiento a las llantas.

A continuación mencionaremos algunos de estos que se han probado como medida para el reuso.

III.1. Trituración mecánica, (df.gob/2002)

Este método consiste en reducir la llanta en trozos pequeños, con maquinaria de elevada potencia capaz de triturar el acero contenido en la llanta, empezando por medidas grandes hasta obtener trozos muy pequeños, el acero se separa haciendo pasar el hule molido por una banda magnética, la cual lo atraerá separándolo así del hule, posteriormente se separa la fibra textil (nylon).

En la figura III.1., se muestra el diagrama de bloques sobre el proceso de trituración mecánica.

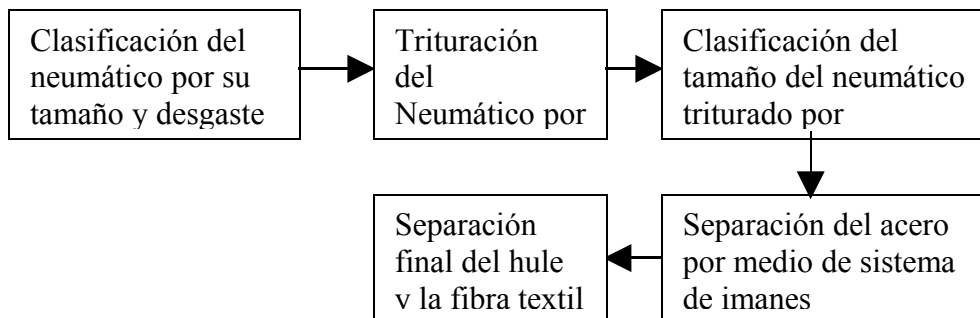


Figura III.1. diagrama de bloque del proceso “trituración mecánica”

La principal ventaja de este método es que no contamina y permite ampliar la aplicación de los materiales recuperados de la llanta. La desventaja que se le puede atribuir, es el costo que implica al adquirir la maquinaria.

III.2. Trituración criogénica, (df.gob/2002).

Este método inicialmente surgió en Valladolid España, consiste en enfriar el hule a temperaturas cercanas a los $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ con nitrógeno líquido, empleando entre 0.6 y 0.7 toneladas de nitrógeno por cada tonelada de llanta, para posteriormente por medio de un impacto obtener trozos más pequeños y separar la estructura metálica y textil del caucho, recogiendo el hule en polvo así como el nitrógeno en forma de gas.

En la figura III.2., se muestra el diagrama de flujo del proceso de trituración criogénica.

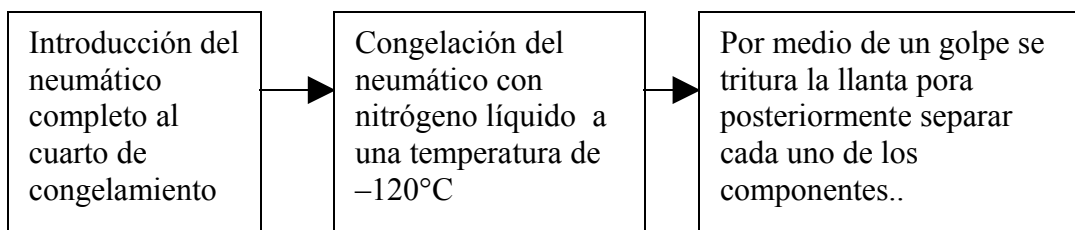


Figura III.2. Diagrama de bloques del proceso “Trituración criogénica”

La desventaja de este método es el costo que implica la adquisición de los equipos necesarios, así como el proceso de operación, además de que en México no se cuenta con la tecnología adecuada.

III.3.Termólisis, (df.gob/2002)

Este consiste en someter a las llantas viejas, a temperaturas superiores a los $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un horno en ausencia de oxígeno, logrando así degradar la estructura y obtener residuos de cadenas cortas, medias y larga que pueden ser usados en un nuevo proceso.

La figura III.3., muestra el diagrama de flujo del proceso empleado para la termólisis.

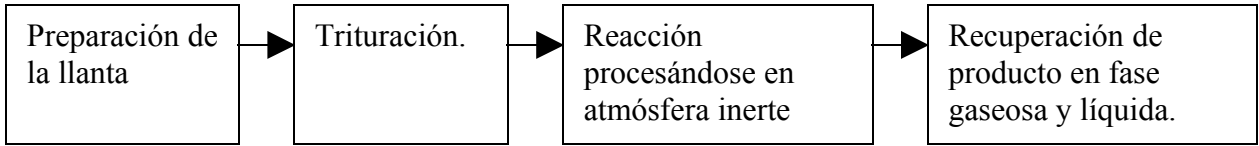


Figura III.3. Diagrama de bloques del proceso “termólisis”

La ventaja de la termólisis, es la no combustión, pero el problema principal es la necesidad de hornos especializados para la combustión, lo cual implica un alto costo en su adquisición, además de requerir condiciones especiales.

III.4. Pirolisis (df.gob/2002; Marck, 2005):

Este proceso consiste en introducir la llanta previamente triturada a hornos en ausencia de oxígeno, a una temperatura de 600 a 800°C. De esta manera, se obtienen productos primarios, como son aceites y gases pirolíticos. En la figura III.4., se muestra el diagrama de bloques del proceso de pirolisis.

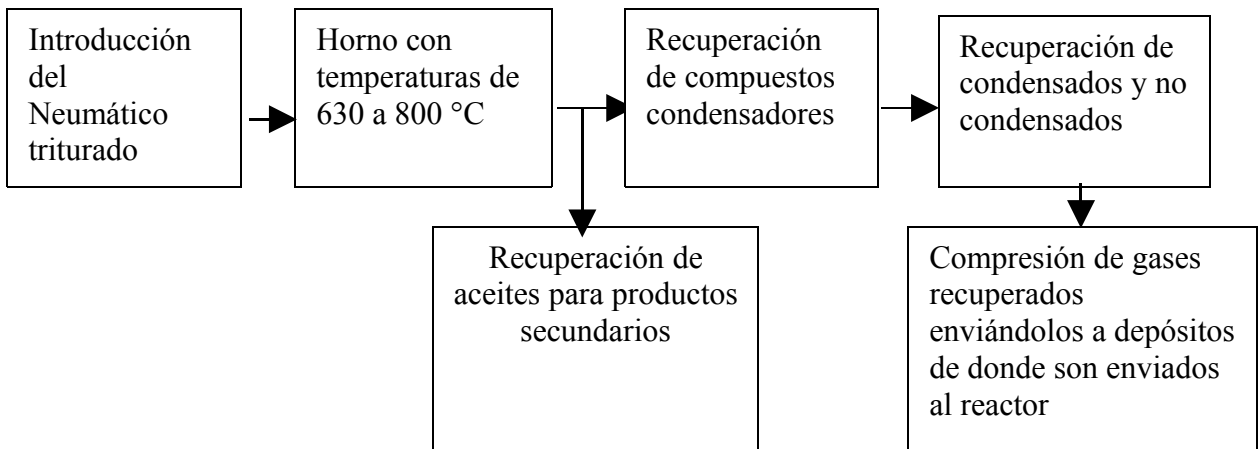


Figura III.4. diagrama de bloque del proceso “pirolisis”

La desventaja de la pirolisis, se debe a sus gastos e inversión elevados, así como del problema técnico que implica al tratar de separar los compuestos carbonados.

Los productos primarios son gases pirolíticos y aceites así como olefinas, ceras y el hollín, estos últimos empleados para combustibles.

III.5. Incineración, (df.gob/2002; Marck, 2005)

Este es el más empleado por las tabiqueras para la generación de energía calorífica en su producción de tabiques. Inicialmente se utilizó en el continente europeo, extendiéndose a diversos puntos del mundo, sin embargo la dificultad que implica al controlar las emisiones de gases lo hacen poco confiable, aun así se ha tratado de optimizar. La figura III.5., muestra el diagrama de bloques del proceso de incineración.

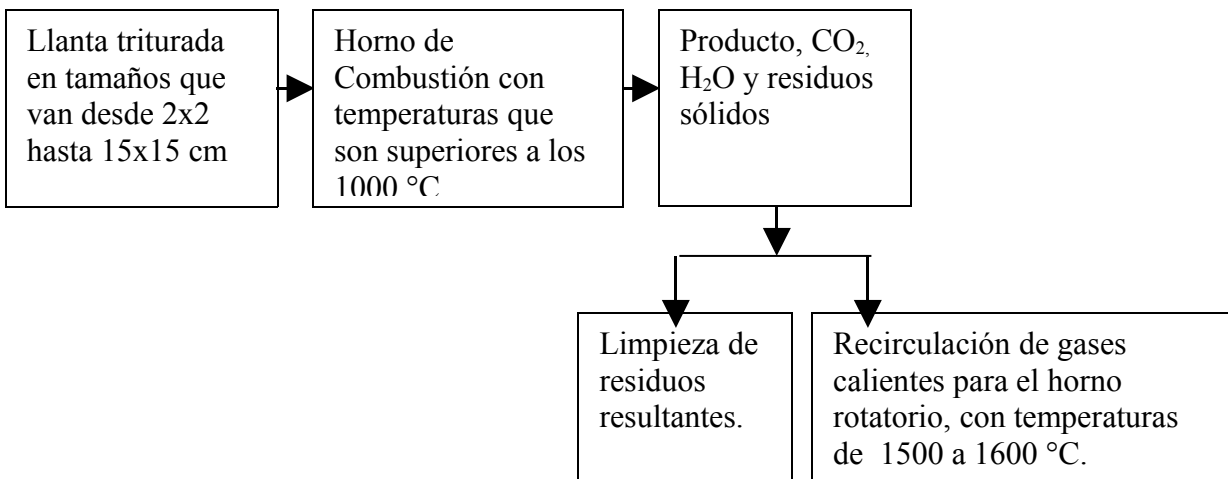


Figura III.5. Diagrama de bloques del proceso de “incineración”

III.6. Microondas, (Marck, 2005):

Este método se basa en la aplicación de energía controlada de microondas para desvulcanizar el azufre contenido en el hule, obteniéndose grupos polares. Este método se lleva en un proceso tipo batch, , dejando grupos polares libres para poder ser mezclados y revulcanizados nuevamente.

Sin embargo una de las dificultades que representa el método de microondas, son los equipos requeridos los cuales son costosos.

III.7. Ultrasonico, (Marck, 2005):

La universidad de Akron por la Ultrasonic Devulcanization Technologu, NFM Masillon Ohio, ha construido un prototipo para estudiarlo.

Este método consiste en presentar rompimiento de enlaces C-S y S-S, mediante aplicación de energía en un proceso batch a 50 KHz en un tiempo de 20 minutos, puede ser muy eficiente y económico en su proceso.

La peculiaridad de los dos últimos es que solamente ayudan a desvulcanizar parcialmente el hule, permitiendo que sea más flexible.

Es evidente que la necesidad por encontrar una solución al problema de las llantas, está empezando a dar resultados; sin embargo, los métodos creados para dicho propósito, aun son insuficientes, como es el caso del método por incineración, el cual es usualmente empleado para la producción de calor por las tabiqueras, sin embargo, al quemar las llantas, el control que se tiene sobre los gases resultantes de dicha combustión es poco, afectando de manera alarmante al medio ambiente. En la termólisis se requieren hornos y condiciones de operación especiales tales como la ausencia de oxígeno y temperaturas elevadas, aparentemente este método es muy eficiente, pero las condiciones necesarias pueden encarecer el proceso.

En el caso de la pirolisis, también se requiere de hornos así como de condiciones especiales, sin embargo este presenta otra dificultad, el requerir de equipos adicionales para separar los residuos resultantes, lo cual también eleva los costos.

El método de criogenia implica condiciones especiales como temperaturas inferiores a los 120 °C bajo cero, para lo cual es necesario tener equipos de costo elevado, la situación en México es la carencia de esta tecnología, cabe mencionar que ya es actualmente utilizado en España.

El método de trituración mecánica ofrece la ventaja de no requerir condiciones especiales que encarezcan el proceso, además de ser un método limpio y dar la posibilidad de recuperar los tres componentes esenciales de la llanta (hule, acero y nylon).

En el caso de microondas y ultrasónico, pueden ser métodos potencialmente efectivos, pero la principal situación es que en México aún no se ha difundido.

CAPITULO IV

SELECCIÓN DE PROCESO Y MAQUINARIA PARA EL RECUPERADO DE LOS COMPONENTES DE LA LLANTA.

IV.1 Maquinaria para el procesamiento del hule.

Por lo general, para el procesamiento del hule se sigue la misma forma de trabajo, que se emplea también en los plásticos, sin embargo la estructura del hule es más fuerte por lo que la maquinaria debe ser de una potencia mayor. Las más conocidas son, extruders, calandras, molinos (Banbury's) y prensas de vulcanizado

A continuación se da una breve descripción de cada una.

- a) **Extruders:** Su función principal es plastificar el material por medio de calor y fricción, cuando se hace pasar a través de un tornillo sin fin y una camisa, hasta llegar al dado dándole la forma deseada. En la figura IV.1., se muestra un extruder sencillo.

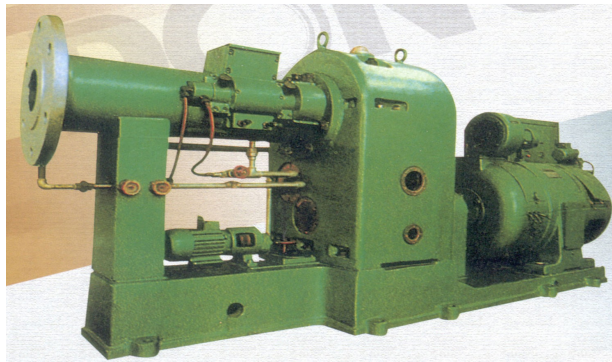


Figura IV.1. extruders

www.rubberimpex.com/(2007)

Las principales partes que lo componen son:

- 1) Tolva que contiene el material a procesar.
- 2) Tornillo sin fin ó husillo.
- 3) Camisa que en conjunto con el tornillo y la fricción ejercida plastifican al material.
- 4) Cabezal ó dado para obtener el material en la forma física deseada.

b) **Calandreas:** Como una definición general de su forma de operar, esta transporta el material plastificado a través de rodillos los cuales giran en sentido contrario cada uno, y por medio de presión, temperatura controlada y una velocidad adecuada, se alcanza el espesor adecuado, acabo superficial y propiedades específicas tales como resistencia a la tensión longitudinal y transversal, porcentaje de elongación y de encogimiento y memoria plástica que son requeridas en el producto final. Su mayor uso ha sido en la industria del hule, plástico y papel, en la figura IV.2. se logra apreciar una calandrea sencilla.

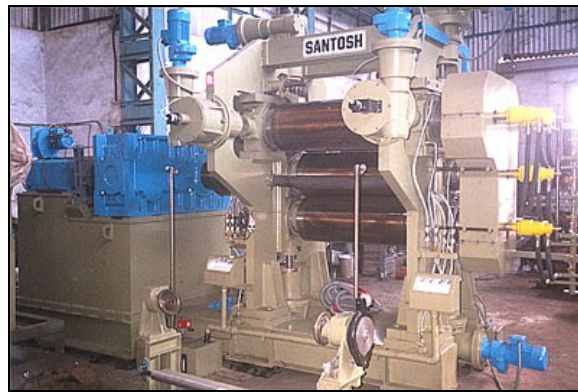


Figura IV.2. Calandrea.

www.rubberimpex.com/(2007)

En las figuras IV.3., IV.4. y IV.5., se muestran las diferentes formas de calandreas que existen.

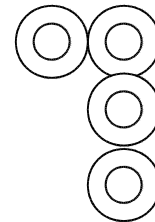
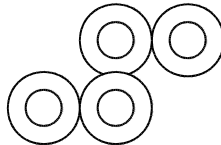
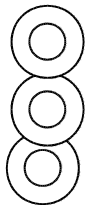


Figura IV.3. forma vertical , Figura IV.4. Forma z, Figura IV.5. Forma L invertida

Fuente: Morton, 1973

c) Molinos (Banbury): La función principal de este molino es realizar una mezcla homogénea hasta llegar a tener una masa uniforme y plastificada con todos los aditivos y hule base, en el caso de que se agreguen los acelerantes y vulcanizantes en este paso, se deberá tener cuidado en el control de las temperaturas, ya que si esta excede de los 80 °C se puede empezar a tener una prevulcanización o vulcanizado, debido a que en este tipo de mezcladores se pueden alcanzar temperaturas arriba de los 110 °C. En la figura IV.6., se muestra un molino bambury, usado en la industria llantera.

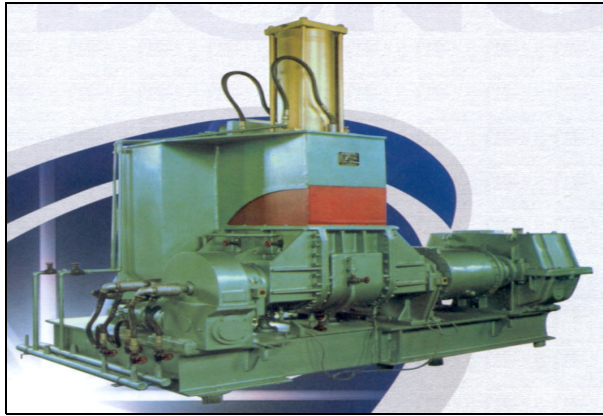


Figura IV.6. Molino Bambury

www.rubberimpex.com/(2007)

Su forma de trabajo es de forma cerrada vaciándose todos los componentes de la formulación dentro de una tolva en donde serán masticados obteniendo una masa ya mezclada, la mayoría de estos son empleados en la industria llantera.

b) Prensas: El principio de funcionamiento de estos equipos consiste en dos superficies (placas) una base y una tapa, cuando estas cierran es aplicado calor, el cual se genera mediante vapor o resistencias eléctricas de acuerdo a las necesidades, la base es la que contiene al molde donde se coloca el hule ya mezclado con los aditivos, dicho molde dará la figura final, la presión es ejercida por un pistón el cual funciona de manera neumática o manual.

Inicialmente este tipo de equipos eran cerrados manualmente por medio de un vástago hasta que se fue evolucionando

En la figura IV.7., se muestra una prensa usada para la vulcanización del hule.

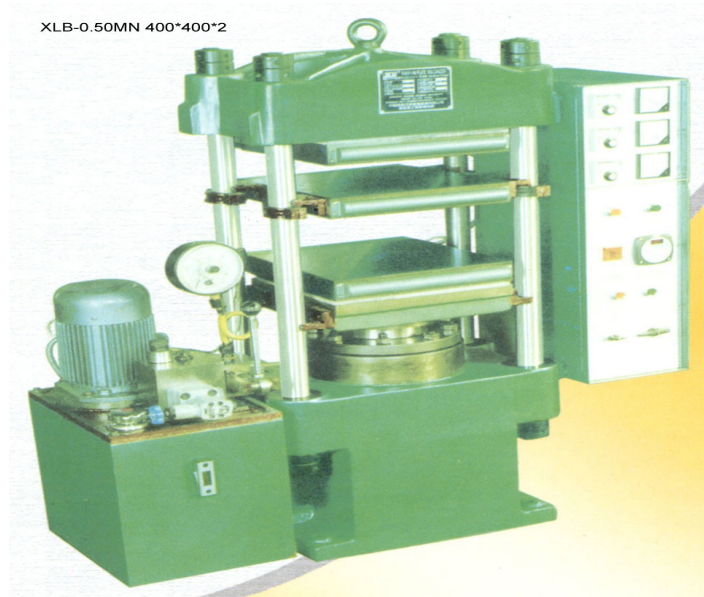


Figura IV.7. Prensa modelo 400"x400"

www.rubberimpex.com/(2007)

Es importante mencionar que para obtener un buen vulcanizado o curado se debe tener mucho cuidado en la distribución de calor por toda el área del producto, es decir que este permanezca constante durante el proceso, así como el vulcanizado más adecuado.

De los equipos usados en la actualidad para la manufactura del hule, la prensa es el equipo más sencillo y económico, ya que de este se obtienen productos finales para su venta.

IV.2. Selección del proceso de reuso.

De acuerdo a los métodos de recuperación anteriormente vistos, para dar un tratamiento a la llanta en desuso, se seleccionara el más adecuado, esta selección será bajo los siguientes criterios

Obtener por separado el hule, acero y nylon, las condiciones de operación deben ser normales para no encarecer el proceso, contaminación mínima emitida, evitar al máximo la generación de residuos sólidos, aprovechar al máximo la llanta, poder dar una aplicación practica al recuperado.

La pirolisis, termólisis e incineración inicialmente ya quedan fuera por no cumplir con el primer criterio (obtener por separado hule, acero y nylon), además de que estos métodos requieren de condiciones de operación especiales tales como temperaturas superiores a los 600 °C y una atmósfera especial para el caso de pirolisis y termólisis , aumentando el costo de operación. Otra desventaja es la contaminación emitida, en el caso de las tabiqueras, estas no tienen mucho control sobre los gases resultantes de dicha combustión de la llanta.

En el caso de la pirolisis, también implica el separar los residuos resultantes, sin embargo, para que se lleve acabo la separación, surge la necesidad de adquirir otros equipos más especializados encareciendo el proceso.

No se debe olvidar que la selección de la llanta para estos tres métodos, es de mucha importancia, ya que esta consta de diferentes hules y puede afectar la velocidad de destrucción de la misma. También se debe tomar en cuenta el cuidado con los operadores, esto es debido a los riesgos que los métodos representan.

Para el caso de la trituración por criogénia, hasta donde se sabe el método tiene un costo muy elevado, además de requerir equipos así como de condiciones especiales que permitan llegar a temperatura inferiores a los 120 °C bajo cero.

Para el caso de los métodos por microondas y ultrasónico, aun están en desarrollo, debido que hasta el momento solo pueden desvulcanizar parcialmente, ofreciendo la ventaja de obtener un material blando y pegajoso, capas de mezclarlo con hule virgen para su vulcanizado en la obtención de un nuevo producto, la situación en México, es la poca difusión de estos dos métodos.

Por ultimo, el método de trituración mecánica, es el que presenta una mayor ventaja, debido a que no se deben tener condiciones especiales de operación, los procesos son muy simples, el único costo elevado que representa es la inversión inicial, no emite contaminación al medio ambiente, es posible recuperar los tres componentes de la llanta con una calidad de primera, no representa un alto riesgo de operación para la gente y su eficiencia puede ser muy alta al recuperar el hule, acero y nylon.

Cabe mencionar que para el método de incineración, termólisis y pirolisis, la trituración mecánica, también les favorece, ya que les ofrece tener un mejor aprovechamiento de los volúmenes de sus hornos al introducir la llanta triturada y no una llanta completa, además de que es posible emplear solamente el hule, dando la oportunidad de un mejor aprovechamiento al acero y nylon. En la figura IV.8., se observa una de las presentaciones del hule recuperado por medio de la trituración, es importante mencionar que para una mejor función de este material su presentación en polvo sería la más óptima.



Figura IV.8. hule triturado

alianzaautomotriz.com/(2007)

En base a los criterios vistos, se puede decir que la mejor forma de reusar la llanta es por medio de la trituración mecánica, ya que al tener por separado el hule acero y nylon, ofrece tener las mejores alternativas de aprovechamiento de la llanta. Además permite mejorar la eficiencia de los métodos que emplean hornos.

Por todo lo anterior, se concluye este punto con la elección del método de trituración mecánica como la mejor alternativa para reusar la llanta.

IV.3. Selección de maquinaria

En base al método seleccionado, se buscó en el mercado que maquinaria cumple con las características necesarias para poder realizar el trabajo.

Los criterios de selección de dicha maquinaria se basaron en el objetivo de aprovechar al máximo la llanta, tratando de separar el acero, nylon y hule.

En la búsqueda se encontró mucha maquinaria, el problema es que están diseñadas con el objetivo de triturar sin realizar ninguna separación de los componentes, motivo por el cual están fuera. Entre estas se puede mencionar las siguientes:

Satrin

Empresa nacida en Italia, la cual ofrece una trituradora con una potencia de (50 – 30 horse power), dirigida especialmente a las empresas que se dedican a destruir materiales duros tales como, metal, llantas y plásticos de alta densidad

Zerma

Empresa nacida en Gran Bretaña con el objeto de ofrecer al mercado una trituradora “ Single Shatt Shedder “.

RMD maquinaria

Esta empresa ofrece maquinaria de trituración, dirigida a diferentes tipos de materiales tales como, blandos, duros, de gran volumen, alimentarios, etc.

Dicha maquinaria fue diseñada con el propósito de triturar, sin embargo dejan de ser funcional por no separar los elementos de la llanta.

Barnatex

Empresa creada en Taiwán, con el objeto de dar parte a la solución del problema generado por la llanta en desuso.

En el estudio de la maquinaria, se encontró que no solamente ofrece una trituradora, sino que además mediante un proceso más completo ofrece separar los componentes de la llanta.

Las principales ventajas que puede proporcionar son, alto porcentaje de separación de los componentes de la llanta (hule, acero y nylon), bajos costos de servicios, continuidad en los procesos relacionados en la separación, no es contaminante, poca mano de obra, capacidad y eficiencia. Por los datos antes mencionados, dicha maquinaria se consideró como la más adecuada para efectuar el trabajo.

Ahora se describirá cada uno de los procesos que intervienen para obtener hule, acero y nylon.

IV.4. Sistema empleado para el tratamiento de la llanta.

En la figura IV.9., se muestra un diagrama de bloques sobre los procesos empleados para recuperar los elementos de la llanta a través de la trituración mecánica, en este método, se sugiere realizar una previa separación de acuerdo al tipo de llanta, sea

de camión o de automóvil, ya que como se mencionó en capítulos anteriores, ambas cuentan con propiedades y características distintas.

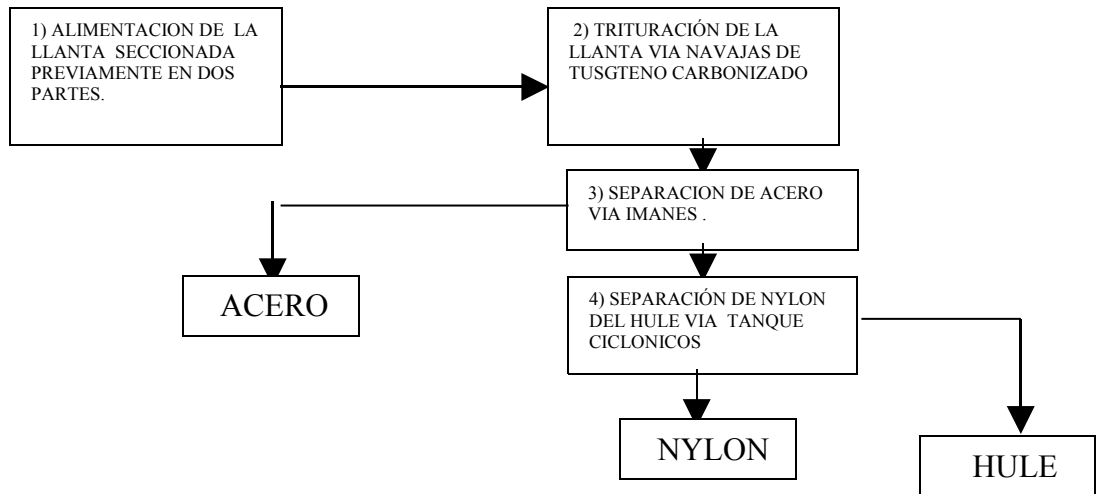


Figura IV.9. Diagrama de bloque del proceso trituración mecánica para el “tratamiento de la llanta”

De acuerdo al diagrama de bloque mostrado, los principales equipos que se requieren son :

Equipo para quitar el acero contenido en la base de rodamiento de las llantas radiales.

Equipo de triturado que consta principalmente de un rodillo con navajas de tungsteno y que mediante presión de corte reducirán de tamaño a la llanta en pequeñas partes de hasta 3 mm.

Equipo separador de acero vía imanes.

Tanques ciclónicos para separación del nylon.

IV.5. Selección de la llanta a ser procesada

A continuación se hace una sugerencia para optimizar la selección de la llanta a ser reutilizada.

Seleccionar la llanta que esté más desgastadas, esta deja de ser funcional cuando:

Los canales de rodamiento son menores a 3 mm de profundidad, es decir la superficie de rodamiento empieza a notarse lisa.

El desgaste no es uniforme, el cual es ocasionado por un mal balanceo.

Ya han sido reparadas varias veces.

Cuando han sido sometidas ha esfuerzos muy grandes por ejemplo, el sobre preso que aumenta la presión interna.

Cuando la llanta cumpla con estos criterios, es cuando se puede decir que es candidata de ser tratada.

Separación de acero

La primera etapa, consiste en eliminar el acero que la llanta convencional contiene en su superficie, con el objeto de facilitar el triturado.

El equipo necesario para llevar a cabo esta tarea es el removedor de acero, el cual consta como sigue:

Sujetador de la llanta.

Gancho sujetador del acero el cual funciona por sistema neumático y mediante la fuerza ejercida lo separa del área de rodamiento.

Tablero de control mediante el cual se regula su funcionamiento.

La capacidad de este equipo es de 20 hasta 30 llantas por hora.

Finalizando esta etapa, se procede a seccionarla en dos partes, con el objetivo de facilitar aun más el triturado.

Trituración de la llanta

La función principal de este equipo es triturar la llanta, obteniéndola en pequeños trozos iniciales. Su principio de operación es mediante cortes, estos se realizan por navajas de “**TUNSGTENO ESPECIAL CARBONIZADO**”, seccionando la llanta en partes más pequeñas. Como inicio de proceso se tiene la alimentación de la llanta, estos se pueden introducir en tamaños de 1.2 M. de diámetro exterior máximo y con un ancho de 0.385 M. máximo.

La cantidad de alimentación puede variar de acuerdo a las necesidades y a la capacidad de la maquinaria. Posteriormente pasa por dos molinos en los cuales se reduce de tamaño desde 3 hasta 8 mm.

Separación de acero vía imanes.

Con el hule ya molido, se realiza una separación de los remanentes del acero vía imanes. En una cantidad de **650 a 800Kg. de hule de llanta de camión** se recuperará de **160 a 340 Kg. de acero**, y de **450 a 600 Kg. de hule** de llanta de automóvil se recuperará de **80 a 120 Kg. de acero**. Si bien esta serie de procesos y equipos parecen ser complejos, en realidad son muy sencillos, directos y eficientes, ya que no implica mucho trabajo, poca mano de obra y bajo costo en los servicios requeridos.

Separación de nylon por medio de tanques ciclónicos.

Posteriormente el material triturado será enviado a un tanque ciclónico para recuperar el nylon. El problema es que en una cantidad de **650 a 800 Kg.** de hule de

llantas de camión triturado, tan solo se recupera una cantidad de **2 a 3 Kg. de nylon**, siendo ligeramente mayor para las llantas de automóvil.

IV.6. Costos de obtener un Kg. de hule triturado y un Kg. de acero.

Dentro de este punto se considera también, la evaluación económica que implica la planta, para lo cual se consideraron costos:

Costos de inversión en la adquisición de la maquinaria.

Costos en la obtención de los materiales de la llanta.

Costos de mano de obra.

Costos de mantenimiento.

Costos de inversión en la adquisición de la maquinaria:

La siguiente información es solo como referencia informativa de los costos actuales que implica el adquirir la maquinaria necesaria para cumplir con el propósito de darle un tratamiento a la llanta.

Dentro de estos se tiene los gastos fijos, que corresponden a la adquisición de toda la maquinaria, esta inversión inicial incluye el transporte de su lugar de procedencia, instalación total lista para empezar a operar, cabe mencionar que no incluye el mantenimiento, estos serán pagados por el comprador de acuerdo a sus necesidades y aunque no son gastos fijos, también se consideraran el entrenamiento del personal para poder operar el equipo dentro del costo total inicial.

Costo total = **20.402.010 millones de pesos. m.n.**

Costos en la obtención de los materiales de la llanta. (información personal con el Sr. Lois K. Poul)

El costo por tonelada de hule es de **\$221.00 pesos, m.n.**

Por tonelada de acero es de **\$1992.6 pesos. m.n.**

Debido a que la cantidad de nylon es muy pequeña, no se toma en cuenta. Los costos de operación ya están justificados dentro del costo de obtención de los materiales.

Costos de mano de obra.

Dicho costo es muy económico, ya que es mínima la cantidad de gente necesaria para poder operar este equipo, y de acuerdo a las leyes mexicanas, este tipo de trabajo no es de alto riesgo, por lo que se considera el sueldo mínimo el cual es de **\$50.57 pesos. m.n.**

Considerando dos horarios de 8 horas con tres trabajadores por turno, la cantidad total de trabajadores necesarios es de seis, por lo que el resultado sería de **\$303.42 pesos diarios. m.n**

No se está considerando el personal supervisor de la gente operaria.

d) Costos de mantenimiento

Este costo se considera si el equipo se trabaja a su capacidad máxima de 40 toneladas por día, haciendo referencia solamente al mantenimiento de las navajas que son las que llevan el mayor esfuerzo.

\$ 47,057.24 pesos. m.n.

De acuerdo a todo lo antes mencionado, solo se están considerando los gastos más importantes, y que algunos aplicaran de acuerdo a lo que establezca el gobierno mexicano.

Si bien todos los costos establecidos, en un proceso, así como la evaluación del mercado, competencia y demanda del producto, determinaran si es viable o no realizar dicha inversión.

Cabe mencionar que las otras maquinarias que solo se dedican a triturar, pueden reducir costos en cuestión de procesos de operación, maquinaria, mano de obra, servicios, entre otros, pero deja de lado el objetivo de separar los componentes de la llanta, sin poder darle una aplicación más útil, sin embargo, si solo se desea reducir de volumen para optimizar los espacios en los centros de acopio estas serían las más eficiente.

CAPITULO V

FORMULACIÓN Y DESARROLLO DE LA LÁMINA.

V.1. Formulación (Morton, 1973; Babbit O., 1978)

La gran diversidad de usos por las que ha pasado el hule, parten de la necesidad que día con día se hacen notar en la vida del hombre, esto ha sido factor importante para estudiarlo y crear nuevos producto con características diferentes y únicas .

El hecho que ha ayudado a lograrlo, es la capacidad de modificación en la estructura de hule, permitiendo mezclarlo con otros tipos de hules existentes.

El factor más importante que se debe considerar en el desarrollo de una formulación, es el uso como producto final, lo cual nos indicará las propiedades físicas, químicas y mecánicas necesarias, así como cual hule base es el más adecuado, y el porcentaje de cada uno de los aditivos que debe llevar.

Si bien el proceso de transformación también se debe cuidar, ya que se puede tener una buena formulación, pero si no se tiene cuidado con los parámetros de proceso tales como, temperatura, velocidad, tiempo y presión, el producto final no servirá.

V.2. Aditivos de la formulación.

Un punto importante que no se debe pasar por alto, es el costo que incluye, la materia prima y el proceso de transformación. Dentro de la formulación, los aditivos más usados son los siguientes:

Estabilizadores de calor, su función principal es evitar que se empiece a presentar una degradación en el material.

Plastificantes, estos permiten modificar la flexibilidad, suavidad y dureza, ejerciendo acción entre las cadenas del producto, estos se usarán dependiendo que tan flexible se requiera, de acuerdo a su manipulación del producto final, la mayoría de los

plastificantes son aceites provenientes del petróleo, tales como, aceites de asfáltenos, aceites base nitrogenados, primeras acidafinas y compuestos saturados.

Previo a su uso, se debe observar la viscosidad, densidad, índice de refracción, así como el porcentaje en la formulación, con el objetivo de determinar cual aceite es el más adecuado para la formulación.

Retardantes a la flama: inhibir el fuego.

Agentes peptizantes: su función es lograr romper la cadenas del material en su inicio del proceso, ya que en algunas ocasiones, cuando se va a iniciar el proceso, el hule viene muy duro, logrando tener un ahorro durante el proceso de rompimiento molecular.

Ayudas de proceso: Estas son de gran importancia para el proceso, ya que pueden lograr reducir temperatura de proceso, viscosidad de la mezcla, e incremento de resistencia al calor.

Modificadores de impacto: Algunos hules son manipulados de manera dura, lo cual puede ocasionar que se presente fractura, el principal objetivo de los modificadores de impacto es evitar que esto se presente.

Agentes protectores UV, antioxidantes y antiozonantes: Estos agentes son de gran importancia en una formulación, ya que la mayoría de los hules son usados en diferente lugares en los que pueden estar expuesto a situaciones tales como, luz, calor, oxígeno, radiación y ozono, de tal manera que cuando estos factores empiezan a afectar al hule, se nota un envejecimiento y una de las maneras más fácil de notarlo son en la formación de grietas

Lubricantes: El objetivo principal de estos, es reducir el contacto o roce entre las partículas de la materia prima y los equipos en los que se está trabajando.

De los lubricantes se manejan tres tipos diferentes:

Internos: Evitan contacto entre las moléculas principales.

Externos: Evitan fricción con el equipo.

Mixtos: una mezcla de los dos anteriores.

Cargas: Estas tiene la función de reducir costos, así como aumentar el volumen, modificando las propiedades físicas del hule, cabe mencionar que no reaccionarán químicamente ni con el hule ni con los aditivos de la formulación.

Los tipos de cargas más conocidas son, talcos, carbonatos de calcio, piedra pómez, etc.

Es importante mencionar que en una formulación se debe tener mucho cuidado con la cantidad de carga que se agregue, ya que si estas se encuentran en exceso, provocaran que las propiedades mecánicas del producto final, sea afectadas, todo deberá de ir en función del uso final.

Pigmentos: El más empleado en la formulación de llantas es el negro de humo, por sus propiedades que posee hacen de este un pigmento de excelencia, además de que es posible mejorar la resistencia al envejecimiento por degradación, resistencia a la abrasión, así como modificar la velocidad de vulcanización.

Se debe tener cuidado en el tipo de negro de humo escogido, ya que si este es de una capacidad de absorción térmica alta, afectara la velocidad de vulcanizado.

Los negros de humo más conocidos son:

Negro de lámpara, el cual se obtiene por combustión en aceite.

Negros termales, estos se obtienen por descomposición térmica del gas natural crudo, separándolo en carbono e hidrógeno.

Agentes de vulcanización: La principal ventaja que ofrece este aditivo, es lograr un producto más resistente, mediante la formación de puentes de azufre entre cadenas diferentes, creando así una red cristalina la cual incrementa la resistencia, es decir endurece y elimina la pegajosidad del caucho.

Estos se pueden manejar como azufrados y no azufrados. Para el segundo caso, se manejan los óxidos metálicos, compuestos bifuncionales y peróxidos. Estos serán elegidos de acuerdo al tipo de hule y cual agente vulcanizante sea el más adecuado.

Aceleradores: Estos ofrecen incrementar la velocidad de reacción entre el hule y el azufre en el vulcanizado. Se conocen como, medio, rápidos y ultrarrápidos.

También mejoran notablemente las propiedades físicas, sin embargo existe una desventaja, que al procesar el hule sino se tiene cuidado con la temperatura, es posible que exista un pre-vulcanizado, sin poder seguir procesando el material hasta llegar a su acabado final. Estos los podemos encontrar en los siguientes grupos diferentes:

- Aldehído aminas
- Arilguanidinasi
- Ditiocarbamatos
- Tiazoles y sulfonamidas.

Agentes antihongos: Hay hules que son usados en lugares con una alta tendencia a formar hongos, estos lugares se pueden clasificar en zonas de alto tráfico y zonas de alta humedad y calor.

La selección correcta de cada uno de estos aditivos, del hule y proceso más adecuado, darán un producto con la calidad deseada.

V.3. Desarrollo de mezcla del hule base seleccionado y hule triturado de la llanta en desuso.

Antes de empezar con los productos a desarrollar, es importante recordar que el hule vulcanizado es un termofijo, y que por la estructura química formada después del vulcanizado, hacen de este difícil de descomponerlo en sus componentes originales. Los principales hules de los que está compuesta la llanta, son de, hule SBR, hule butil y hule natural, en el caso del hule natural, al degradarse o envejecer presenta un rompimiento de ligaduras, y se vuelve más débil, sin embargo el SBR genera entrecruzamientos, volviéndose más rígido. Debido a que el hule vulcanizado ya no puede reaccionar químicamente dentro de una mezcla, solamente puede fungir como un relleno. La figura V.1., muestra un ejemplo del uso del hule previamente molido, en lo que se conoce como tabla-roca, siendo su función como relleno.

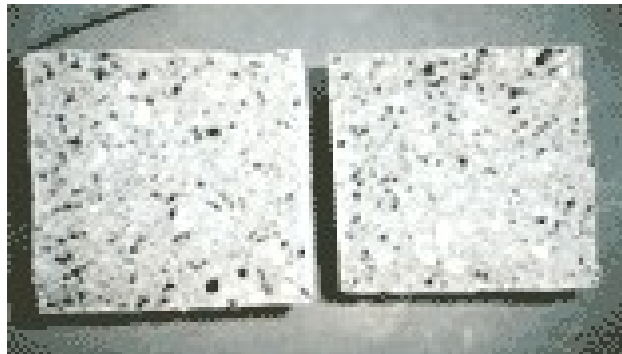


Figura V.1. tabla-roca hecha a base de cemento y hule triturado

alianzaautomotriz.com/ (2006)

Como uno de los objetivos de esta tesis, se maneja el desarrollar una lamina de hule virgen y de hule de llanta triturado, como otra alternativa de aprovechamiento de las llanta en desuso. La lamina debe tener la funcionalidad de un tapete y una suela, para lo cual primero se conocerá un poco sobre las características principales de los tapetes y suelas.

Tapetes (autor): Un tapete generalmente es visualizado como una placa o una lamina , hecha a base de hule o de plástico, ya sea por el proceso de extrusión para el caso del plástico o por un prensado y vulcanizado para el caso del hule.

Las características principales que un tapete de tener son, resistencia a la abrasión, resistencia a la intemperie, resistencia a la formación de hongos, resistencia al ozono, oxígeno, rayos UV, resistencia a aceites y debe ser flexible, cabe mencionar que las características necesarias en el tapete, dependerán del lugar en donde se vaya a utilizar y cuales serán las condiciones a las que estará expuesto.

Actualmente se conoce la existencia de diferentes tipos de tapetes comerciales como los que se muestran en las figuras V.2., V.3., V.4., y V.5.

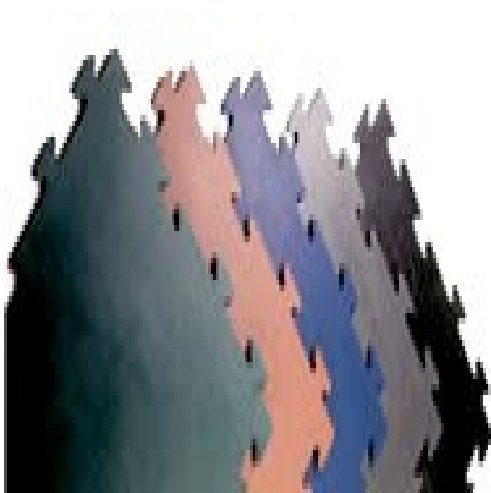


Figura V.2. tapete antifatiga



Figura V.3. tapete personal

tapetespersonalizados.com/(2006)

Continuación de tipos de tapetes.



Figura V.4. Tapete antiderrapante



Figura V.5. Tapete de promoción

tapetespersonalizados.com/ (2006)

Cabe mencionar que en la mayoría de los tapetes fabricados con hules, se emplea el hule SBR.

Suela para zapato (autor): Las suelas son empleadas para la fabricación de los zapatos, sus características más importantes que deben tener son, una alta resistencia a la abrasión así como a la flexión. Las suelas más conocidas en el mercado son suelas para zapato de vestir, suelas para botas, suelas para tenis, suelas para usos especiales por ejemplo, en la industria en donde se requiere un material que proporcione la protección adecuada.

En la actualidad la fabricación de suelas con llanta vieja ya es utilizada, se corta una parte de la superficie de rodamiento y es laminada a una plantilla que ira en contacto directo con el pie. Sin duda es un buen trabajo de artesanía que tiene éxito hoy en día, y no requiere de maquinaria especial. La forma de producción de la suela puede variar, por ejemplo, para el caso de las que son hechas de plástico, se emplea la extrusión, y las que son hechas a base de hule, se emplea tanto la extrusión,

como el calandreo para la formación de laminas a través de prensas, un ejemplo de del calandreo, son las laminas y es común verlas en las peleterías o zapaterías .

Para el caso de las laminas a desarrollar, y por la disponibilidad de equipos, se tomo la decisión de generar un solo producto que pueda ser aplicado para ambos propósitos, empleando tan solo un molino para el mezclado, y una prensa para el vulcanizado. Las aplicaciones propuestas, solo hacen referencia a los posibles usos en los que se puede incluir el triturado de la llanta, no considerando los costos totales de su producción a mayor escala.

También se debe considerar la posibilidad de emplear otro tipo de material diferente al hule, ya que de lo que se trata es de eliminar el hule ya vulcanizado, y se esta recurriendo al mismo como base, y dependiendo del uso podría ocasionar que a futuro se vuelva otro problema de material inservible y difícil de desaparecer.

La experimentación se dividirá en tres etapas de acuerdo a la selección de hule, formulación y procesamiento.

Primera etapa

Selección de hule base:

Los criterios empleados para la selección del hule a emplear fueron, costo y disponibilidad de materia prima, es decir con que facilidad se dispondrá de toda la gama de hules en México. En base a lo anterior, se realizó la búsqueda de proveedores de hule y se logró contactar a las siguientes empresas

Neoprenos Industriales, S.A. de C.V.

Suministros de especialidades, S.A. de C.V.

Químicos y polímeros de México, S.A. de C.V. (QUIMIPOL)

Con las anteriores empresas, se determinó cuales son los hules de mayor facilidad para encontrar en México, y cuales son los precios actuales, como se logra apreciar en la tabla V.1.

Tabla V.1. Hules de fácil disponibilidad en México y costos de venta por Kg.

Tipo de hule	Costo de venta por Kg. de producto
Neopreno	\$ 70.0 pesos
Natural	\$ 22.0 pesos
Butadieno-estireno	\$ 22.38 pesos
Cloro-butilo	
Etileno-propileno	

Fuente: Comunicación personal con proveedores, marzo 2007

La tabla V.1., muestra que los hules cloro-butilo y etileno-propileno, son relativamente fácil de encontrar, pero esto es sobre pedido especial, por lo cual quedan fuera.

El hule neopreno por su precio queda fuera, restando solamente el hule natural y el hule estireno-butadieno, como las alternativas más adecuadas a emplear para desarrollar las laminas, cabe mencionar dichos hules también son empleados en la fabricación de la llantas.

Segunda etapa

Formulación:

Para la formulación se tomo como base dos formulas diferentes, obtenidas de las bibliografías (Morton, 1973; Babbit, 1978), a dichas formulaciones se le hicieron ajustes de acuerdo a las necesidades requeridas y solo se irá variando el porcentaje del hule triturado.

En la tabla V.2., se muestra la formula final.

Tabla V.2. Formulación de la lamina.

Aditivos	Hule natural (200 grs.)	Hule SBR (200 grs.)
Aceites nafténico	Variable	Variable
Activador, ácido esteárico	4	4
Activador, óxido de zinc	10	10
Antioxidante	5	5
Carga, carbonato de calcio	10	10
Carga, triturado de llanta	Variante	Variante
Acelerante de vulcanización "Vulmic (Mr.)"	3	2
Acelerante de vulcanización "MTBS"	0.2	0.2
Agente vulcanizante "Azufre"	2	2
Total	234.2 g	233.2g

Tercera etapa

Procesamiento de las laminas:

A continuación se mencionan los equipos que intervinieron en el desarrollo de las laminas

Molino Mezclador

Marca: Hechizo

Condiciones de proceso:

Temperatura de mezclado: 70 °C

Presion ambiental: 585 mmHg

Prensa de vulcanizado:

Marca: Carver Laboratory Press.

País de origen: U.S.A

Capacidad operativa: 24000 Lb de presión, Temperatura máxima: 200 °C

Condiciones de proceso:

Temperatura de vulcanizado: variable (°C)

Presión para vulcanizado: 1400 Lb de presión

Durómetro:

Modelo: 306L

Marca: PCT Instruments

Dureza ASTM 2240

Abrazómetro:

Marca: Frank nro. 92

Pais de origen: Italia

El desarrollo de las muestras son como productos primarios, con el objeto de determinar su funcionalidad para el propósito deseado.

La figura V.6., muestra el diagrama de bloques de cómo se desarrollo la fabricación de las laminas.

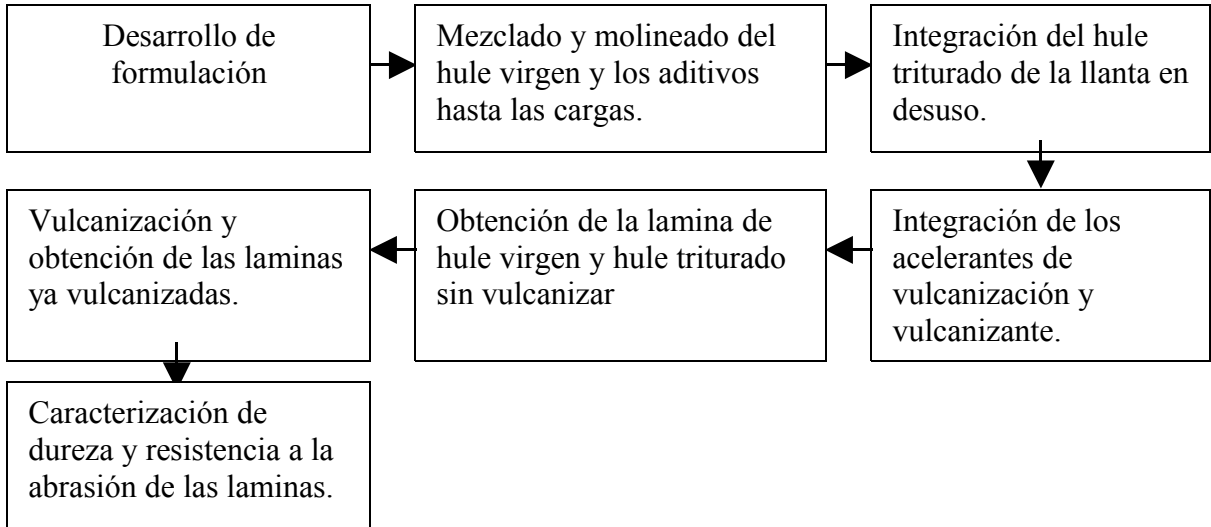


Figura V.6. Diagrama de bloques del desarrollo de las laminas

Antes de empezar con el mezclado, es importante no olvidar la función de cada uno de los aditivos y como será el orden en que se deberán agregar en el mlineado, con el objeto de ir dando la estabilidad adecuada al hule, evitando así la degradación o descomposición de este.

La alimentación de los aditivos posterior a la plastificación del hule es la siguiente:

- 1) Aceite nafténico
- 2) Antioxidante
- 3) Ácido esteárico
- 4) Óxido de zinc

- 5) Cargas, (carbonato de calcio)
- 6) Carga o relleno, (triturado de llanta)
- 7) Acelerante de vulcanizado, (Vulmic (Mr.))
- 8) Acelerante de vulcanizado, (MTBS)
- 9) Agente vulcanizante (Azufre).

Desarrollo experimental

El desarrollo de la fabricación de las laminas se llevo a cabo como sigue, primero se realizo el molineado, en donde se mezclaron todos lo aditivos junto con el hule virgen y el hule de la llanta triturada, posteriormente de obtener la lamina molineada sin vulcanizar, se llevó a cabo su vulcanizado durante el tiempo establecido, finalmente a la lamina ya vulcanizada, se le determinamos sus características para saber si es funcional de acuerdo a los usos propuestos.

Primera corrida.

Como primer paso previo al procesamiento del hule, se tomo la temperatura del molino que fuera la adecuada, alrededor de los 70 °C, posteriormente se alimento el hule y se le fueron agregando cada uno de los aditivos, observándose una buena aceptación por parte de la muestra base.

Las primeras muestras obtenidas son libres del hule triturado, con el objeto de determinar el comportamiento del hule tanto en el mezclado como en el vulcanizado, estas se mantuvieron en el molino por un periodo de 15 minutos hasta lograr una homogeneización completa.

Los acelerantes y el agente vulcanizante se agregaron después de transcurrido este tiempo, y se mantuvo por otro periodo cercano a los 7 minutos. La figura V.7., muestra el molineado del hule virgen solo, es decir sin la integración del hule

triturado, se aprecia como el hule no tiene ninguna rasgadura y presenta una apariencia homogénea.



Figura V.7. Molineo de hule virgen.

Las condiciones de vulcanizado fueron de 160 °C durante un periodo de 20 minutos a 1400 Lb/in². En la figura V.8 y V.9., se muestran los hules natural y SBR ya vulcanizados, se puede ver que la que presenta mejor acabado superficial es la de hule natural y el SBR presenta porosidad en su superficie, ambas tienen una misma flexibilidad, al igual un ligero espumado.



Figura V.8. Hule natural vulcanizado Figura V.9. Hule SBR vulcanizado

Segunda corrida:

Esta se inicio siguiendo el mismo desarrollo de la primera, la diferencia se aprecia en la temperatura del molino la cual estaba cercana a los 100 °C, aun así se trabajo primero con el SBR para poder determinar su comportamiento a dicha temperatura. Se aprecia que la muestra empieza a prevulcanizar antes de salir del molino por lo que se colocó inmediatamente en la prensa, sin embargo como producto final se aprecio un espumado excesivo.

Al realizar un análisis de esta corrida fallida, se detecto que lo que pudo haber ocurrido, es que se hayan degradado los aditivos como el óxido de zinc, ácido esteárico, y el hule, además por la cantidad alimentada de aceite nafténico, no se podía tener una temperatura demasiado elevada, ocasionando con esto tal problema. Debido a esta falla se enfrió el molino, trabajándose nuevamente con otra muestra de SBR, en la cual se empezó a agregar el triturado de llanta.

Como se puede apreciar en la figura V.10., el hule virgen empieza a rasgarse, mostrándose de igual manera este comportamiento para ambos hules, debido a esto se decidió aumentar el espesor de la película.



Figura V.10. Molineo de hule virgen y hule triturado de llanta.

Las condiciones empleadas en el vulcanizado fueron 1400 Lb/in² y 160 °C durante un periodo de 20 minutos.

La figura V.11. y V.12, se muestra al hule natural y al hule estireno butadieno mezclados con el hule triturado.



Figura V.11. hule natural vulcanizado Figura V.12. hule SBR vulcanizado

En la figura V.12., se muestra a la lamina de hule SBR, la cual presentó una irregularidad en la superficie gracias a la humedad que se infiltró en las placas móviles, las cuales son enfriadas manualmente con agua, debido a esta observación se secaron completamente dichas placas, y después de otro vulcanizado se le dio un tiempo para su enfriamiento y así poder retirar las muestras sin necesidad de enfriarlas con agua, posterior a esto se observó una mejoría en el acabado superficial de la figura V.11. hule natural.

Tercera corrida:

Las condiciones en el mezclado fueron las mismas para ambos hules, sin embargo el mismo problema surge cuando se empieza a agregar el triturado, es decir los dos hules se empiezan a rasgar, debido al esfuerzo mecánico del molino y que no hay ninguna reacción química de los hules con el triturado.

Se siguieron las mismas condiciones de vulcanizado, la muestra de hule natural presento un mejor acabado superficial en comparación con el SBR, ya que esta ultima fue demasiado porosa, ambas con igual consistencia flexible.

Aunque en este caso la cantidad de llanta triturada dentro de la estructura aumento en un 25% con respecto del peso del hule total, se aprecia que la porosidad superficial es ocasionada por el mismo reciclado y no por las condiciones de proceso.

Cuarta corrida:

Mismas condiciones de molineado, y previo a la alimentación del triturado no se presenta ningún problema en la formación de una película uniforme y homogénea, sin embargo presenta la misma dificultad al agregar el triturado en ambas muestras, por lo cual fue necesario nuevamente el incremento de espesor.

El vulcanizado presenta condiciones estables, aunque la cantidad de llanta en estas fue la mayor 50%, también se logra apreciar que el acabo superficial es afectado solamente por los granos del triturado.

Cabe mencionar que, aunque en esta cuarta corrida es donde se agrego una mayor cantidad de triturado dentro de la formulación, las condiciones de proceso permanecieron constantes, y a simple vista no se aprecio una alteración de ambas muestras, posterior a esto, se apreció que las muestras tuvieron un comportamiento aceptable.

Para este punto se agrega la única observación más importante, haciendo referencia a la aceptación del triturado de llanta en el hule virgen. Si bien la principal dificultad fue cuando se agregó dicho material en el hule virgen, observándose como se empieza a rasgar la película que hasta entonces permaneció homogénea, lo cual deja ver la difícil integración del hule triturado.

Por otro lado, después del vulcanizado, la principal observación es el acabado superficial de las muestras, las cuales son porosas debido a los tamaños del grano del triturado y su forma irregular, además de un ligero espumado.

El olor característico del hule no desaparece, lo cual conlleva a la integración de un aromatizante para cubrirlo. La flexibilidad del material no se ve afectada.

V.4. Caracterización de los productos

Para poder dar inicio de este punto, fue necesario adquirir productos comerciales, con la misma aplicación que se pretende dar a la lámina desarrollada en esta tesis, el objetivo es aplicarles la misma caracterización, y en base a los resultados tanto de las muestras comerciales como de las desarrolladas, determinar que tan lejos están de los parámetros para las aplicaciones propuestas.

De acuerdo a los usos propuestos, las características a determinar son, resistencia al medio ambiente, resistencia a la abrasión y dureza.

Resistencia al medio ambiente.

La suela, el tapete y la muestra fueron colocadas durante un mes a condiciones ambientales tales como lluvia, tierra, aire y sol directo.

Para las muestras comerciales no hay ningún cambio, no siendo así para la muestra desarrollada ya que esta empieza a presentar un amarillamiento en lo que es el hule que no tiene reacción alguna con el triturado.

Dureza

En el caso de la suela, este parámetro es muy importante, ya que estas estarán sometidas a constante flexión y si estas tienen una alta dureza, simplemente no resistirán, no siendo así para los tapetes ya que estos no tienen las mismas condiciones de uso, pero que sin embargo es un parámetro de mucha importancia.

Este valor fue determinado un día después de vulcanizadas las muestras.

La figura V.13., muestra la gráfica en donde se puede apreciar la diferencia de dureza entre los tres productos, en la grafica también se ve que la lámina desarrollada tiene los valores más pequeños.

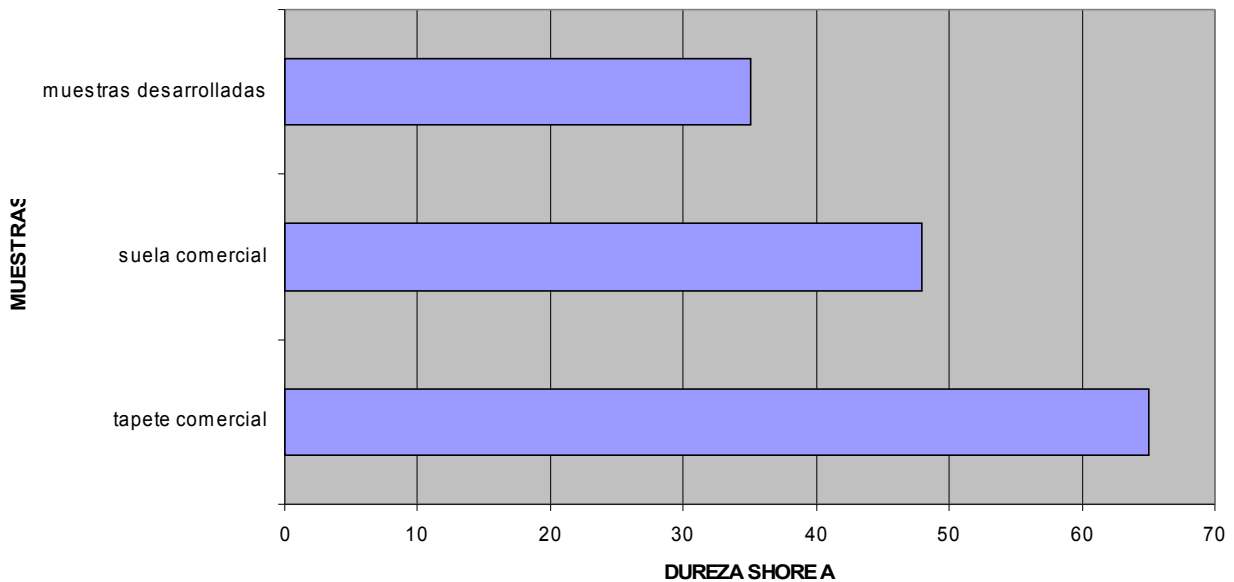


Figura V.13. Determinación de dureza

En el análisis efectuado, se detecto que esto es ocasionado posiblemente por la alta cantidad de plastificante que se agrego dentro de la formulación, por lo que para aumentar dicho parámetro, se debe disminuir el volumen de este aditivo. Cabe mencionar que para las muestras desarrolladas, la evaluación fue aplicada en áreas donde hubiera mayor homogeneidad y una superficie más lisa, ya que de lo contrario los diferentes valores obtenidos sería muy distantes, debido a que la naturaleza física del triturado es más dura que el hule base.

Resistencia a la abrasión.

En la determinación de este parámetro, se usó un abrasómetro con una lija del número 100 y una presión de 1 Kg., durante un periodo de 5000 ciclos, sometiendo tanto al tapete como a la suela y a la muestra a las mismas condiciones. En la figura V.14., se muestra la gráfica en donde se puede apreciar como la suela comercial es la que tiene un menor desgaste, al contrario del tapete y de la muestra para las cuales es mayor y ligeramente igual.

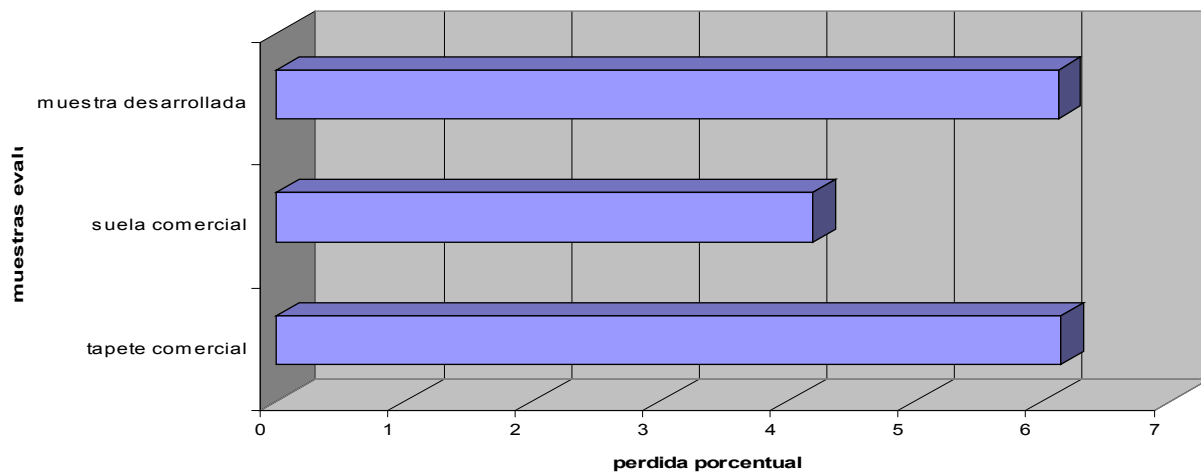


Figura V.14. Determinación de porcentaje de desgaste por abrasión.

En los residuos resultantes de la caracterización realizada, tanto de la suela como del tapete comercial se observa que estos son polvo, sin embargo no es así para la muestra desarrollada ya que el residuo de esta es de mayor tamaño, lo cual indica que las muestras comerciales tienen una mayor cantidad de carga, una cantidad de plastificante menor y una mejor dispersión de los aditivos.

Otro punto importante, se vio en las muestras desarrolladas, y es que las que tienen una mayor cantidad de hule triturado, tiene una mayor resistencia a la abrasión.

En el análisis realizado, se puede decir que esto es ocasionado por una mayor área de contacto de la lija con los granos del triturado en la muestra, además de que en capítulos anteriores se conoció que en la formulación de la llantas se encuentra el hule polibutadieno, y este tiene una alta resistencia al desgaste, motivo principal por el menor desgaste en las muestras.

Mediante este análisis, se puede pensar, que si se aumenta la cantidad de hule triturado en un tamaño menor del grano, el hule virgen tendrá una mayor aceptación, se logrará una mejor compactación de la muestra total, y las propiedades de resistencia al desgaste van a ser mayores, también permitiendo tener un mayor consumo del hule triturado.

Es notable que en las tres evaluaciones realizadas, los resultados dejaron ver que en las muestras comerciales, poseen una mayor cantidad de cargas y una menor cantidad de plastificantes, y las muestras desarrolladas contienen mayor cantidad de plastificante y menor cantidad de cargas, por lo que la modificación en las formulaciones de las muestras desarrolladas, serán específicamente en tales aditivos sin aumentar tanto el costo de la formulación.

La modificación fue la siguiente:

Cantidad de carbonato de calcio inicial: 10g / 200 g de hule

Cantidad de carbonato de calcio final: 50g / 200g de hule.

Cantidad de plastificante inicial 100mL / 200g de hule.

Cantidad de plastificante final 60mL / 200g de hule.

Resultados de segunda prueba:

Resultados informativos: En el análisis realizado a las muestras de la segunda prueba, se puede apreciar que la dureza de las muestras es aumentada de valores como, 35,38, 39; hasta 48 y 50, etc, como se logra apreciar en la figura V.15.

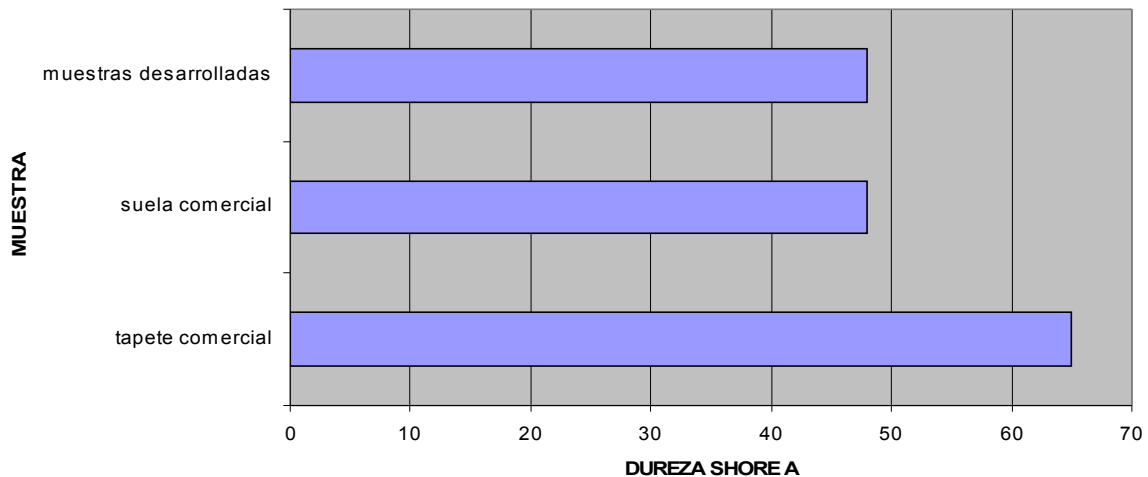


Figura V.15. Determinación de dureza

En el caso del desgaste que presento la muestra en comparativo con la anterior, fue ligeramente menor.

En relación a costos, solo se está considerando las materias primas empleadas de la formulación final, y con respecto a los costos de producción, los servicios totales de los equipos empleados, están considerados dentro de gastos totales como departamento, identificando ya una suma dirigida a los gastos de pruebas de laboratorio, por lo que no se consideraron. En la tabla V.3., se muestra el costo de la materia prima para la formulación de una lamina, tomando como base 200 gramos de hule virgen.

Tabla V.3. Costos de materia prima (formulación)

Materia prima	Cantidad empleada para formulación (Kg)	Costo (m.n.)
Hule natural	0.200	\$ 4.548
Hule sintético	0.200	\$ 4.422
Ácido esteárico	0.004	\$ 0.05896
Carbonato de calcio	0.50	\$ 0.3675
Óxido de magnesio	0.002	\$ 0.08022
Aceite nafténico	60 mL	\$ 0.9840
Acelerante Vulmic (Mr)	0.003	\$ 0.10803
Acelerante MTBS	0.0002	\$ 0.01132
Azufre	0.002	\$ 0.066
Hule triturado	Variable	Variable de acuerdo a la cantidad incluida

Teniendo un costo total para el hule natural de \$ 6.22403 pesos m.n. por lamina y para el hule Estireno Butadieno un costo de \$ 6.098903 pesos m.n. por lamina.

Se hace hincapié en que los costos mencionados de las muestras desarrolladas, solo son de materia prima y formulación, y que en este caso los costos de producción no serán tomados en cuenta, por no tener una base sólida y debido a que uno de los objetivos de esta tesis, consiste en ofrecer una alternativa de uso del hule triturado con la generación de las laminas. Por otro lado, es evidente que el comparativo hecho a partir de las evaluaciones técnicas realizadas tanto a la muestra desarrollada como a las muestras comerciales, demuestran que si es posible dar la aplicación sugerida, por lo tanto el objetivo casi se cumple quedando únicamente el problema del costo de producción.

V.5. Aplicaciones

Observando la estructura de la llanta es posible que se le de otro tipo de aplicación, como se aprecia en la figura V.16., en donde se observa que la llanta se puede emplear como placas colocadas sobre bloques, esto con el objetivo de absorber el impacto del choque de un automóvil, es evidente que estas placas pueden ser muy útiles en la ciudad de México, por el alto índice de accidentes automovilísticos que ocurren, cabe aclarar que las placas de hule no disminuirán la cantidad de accidentes sino el fuerte impacto de un automóvil.

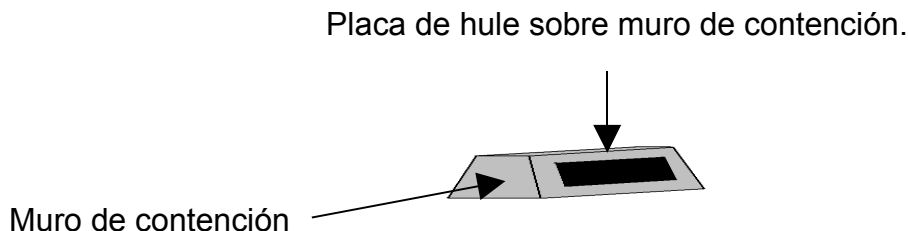


Figura V.16 Muro de contención con placa de hule como absorbedor de impacto.

También pueden tener la funcionalidad de disminuir la vibración, evitando el golpeteo en equipos que tengan esta problema, colocándolas entre la superficie y el equipo, como se aprecia en la figura V.17. En este caso las muestras desarrolladas pueden cumplir también con este propósito.

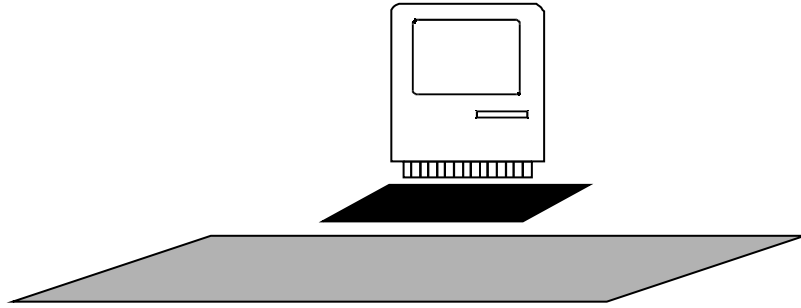


Figura V.17. Placa absorbidora de vibraciones.

Para el caso del acero este debe ser destinado a las empresas metaleros, para emplearlo en la fabricación de tapas para la coladeras colocadas en las banquetas o en lugares donde no exista una trafico pesado, en mallas comúnmente usadas para la protección de los parques, etc. Debido a que no existe interacción química entre el nylon con los hules de la llanta, es posible que se pueda reutilizar por procesos químicos, recuperando sus principales compuestos, o en todo caso si no se quiere invertir, ya que es poca la cantidad que se recupera, se pueden formar bloques como se ve en la figura V.18.

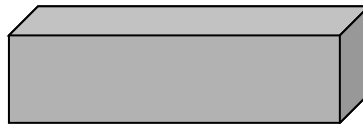


Figura V.18. Bloque de nylon recuperado de la llanta en desuso.

Conclusiones:

Es evidente que se deben tomar acciones inmediatas para encontrar la solución más práctica al problema generado por la acumulación de la llanta vieja o en desuso, para disminuir los daños ocasionados el medio ambiente.

Aunque existentes métodos empleados para darle un tratamiento a la llanta, aun son insuficientes, ya sea por el tipo de proceso que se requiere, o por la emisión de contaminantes debido a la quema de llantas en la producción de energía calorífica, es el caso del método de incineración, el objetivo es simple, generación de energía para sus procesos, evitando el consumo de reservas naturales, pero el deterioro ambiental que esto implica lo hacen altamente costoso a largo plazo. Además, esto implica que la forma en que se aprovecha la llanta, no es la más óptima, debido a que se consume toda la llanta sin tener un mayor aprovechamiento de sus demás componentes, como es el acero y el nylon.

Esta claro que si se trata de aprovechar la llanta al máximo, la trituración mecánica es la opción más viable, por la funcionalidad que representa al tener la llanta triturada en pequeños tamaños, permitiendo recuperar el acero y el nylon, además de ayudar indirectamente a los métodos de incineración, pirolisis y termólisis, optimizando sus procesos en el aprovechamiento de los espacios de los hornos, es evidente que el tener la llanta triturada, permite un mejor aprovechamiento, como es el caso de los espacios disponibles en los centros de acopio, asfalto, bloques de concreto mejor conocido como llancreto, tapetes, autopista de carreras en parques, entre otras, además que abre la posibilidad al acero y nylon de ser reutilizados.

Con respecto a las laminas desarrolladas, de acuerdo a las caracterizaciones hechas, los resultados indican que estas cumplen con el propósito para el que fueron creadas, es decir ser empleadas como tapete y como suela, ofreciendo una alternativa más de aprovechamiento de la llanta en desuso.

Por todo lo anterior, se puede concluir que la mejor alternativa de aprovechamiento de la llanta es por medio del método de trituración mecánica.

Sin embargo esta claro, que se debe seguir trabajando en encontrar más alternativas útiles, para el uso de la llanta, que no implique métodos costosos ni contaminantes.

Recomendaciones:

- 1) Las principales recomendaciones van dirigidas a la gente en general, ya que una de las principales formas en que se puede disminuir tal problema es teniendo un conocimiento de cómo cuidar las llantas, ayudando a detener su rápido desgaste y por lo tanto tener mayor tiempo de duración, si este tipo de cultura se tuviera desde tiempo atrás el problema no sería de las dimensiones que hoy se aprecia.

- 2) Crear normas que sean dirigidas especialmente al tratamiento de los residuos generados por la llanta, siendo compatibles con normas de otros países, así como la prohibición de que sean tiradas en la calle, siendo obligatorio enviarlas a un centro de acopio en el cual deben de intervenir para su envío, principalmente tanto las empresas llanteras, reparadoras de llantas y el gobierno de México.

- 3) De los impuestos que actualmente se recaudan para los automóviles, se debe dirigir un porcentaje a un fondo monetario y así poder crear una infraestructura exclusiva para el tratamiento de la llanta vieja o en desuso. Adema de poder incentivar a la búsqueda tecnológica para encontrar métodos más eficientes y económicos.

Referencias.

Asociación nacional de distribuciones de llantas y plantas.

Agenda ecológica, 2005.

Babbit O. R., ***The vanderbilt rubber handbook***, Vanderbilt Company 1978,
Pag, 444, 466, 488.

Blas L., ***Disolventes y plastificantes***, Editorial Aguilar, segunda edición, 1962.

Simonds H. R., Bigalow M. H., Weirt A. J., ***Hand Book of plastics***, Mac-Graw Hill,
tercera edición, 1996, pag. 479,517-524.

Bloque de concreto con hule de llanta triturada www.alianzaautomotriz.com
(2007)

Camara nacional de la industria hulera, 2006.

Centro empresarial del plastico

Centros de acopio www.inti.org , 2006.

Composición de la llanta, www.eng.buffalo.edu.htm/2002.

Constitución política. 2001.

Conformación de la llanta, www.michelintransport.com/ple/front, 2006

Corteza del arbol hebea brasilensis y la extracción del latex.
www.biblioteca.org.ar/libros, 2006

Dirección general de servicio urbano (dgsu), 2006

Duvigneaud P., ***La síntesis ecológica***, Editorial TR.A. Guiset, 1978.

España y el plan nacional de neumáticos fuera de uso, (2001-2006),
WWW.boe.es/g/es/base_datos/boe, 2007

Garcia A. O., **Anteproyecto de normas de calidad de hules naturales**, tesis, I.Q.I, ESIQIE-IPN, 1978.

Generación de llanta según la Secretaria de medio ambiente y recursos naturales, (Copyright © Grupo Reforma Servicio Informativo , 2007)

Historia del caucho es.wikipedia.org/wiki/caucho, 2007.

Historia del hule www.jovenclub.cu/libros (junio- 2006)

Kern S.J., **The techonology of plastizicers**, Newyork Wiley, 1982.

Leyes y normas para el tratamiento e las llantas www.fff.org/news/release (agosto 2006)

“ Llantas usadas, diagnostico de la situación en el d.f.” 2002

Ley general de equilibrio ecológico

Mark J.E., Erman B., Eirich F., **Science and techonology of rubber**, Third Edition. 2005.

Maquinaria para hule www.santosrubbermachinary.com, 2007.

Maquinaria para el hule, www.rubberimpex.com, 2007.

Morton M.; **Rubber techonology**, secon edición, año 1973. pag, 19, 20.

RENOVADORAS, A.C. (ANDELLAC)

Seymour R. B., Carrahe C. E., **Introducción a la química de los polímeros**, Editorial Revertè, 1998.

Tipos de tapetes www.tapetespersonalizados.com.mx/tapetes, 2006.

Uso del hule como relleno en asfaltos. www.rubberpavements.org, 2006.