

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CALIDAD DE ALFOMBRA FABRICADA DE DESECHOS DE HULE
NATURAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LESTER OSWALDO TZUNUN CAAL

ASESORADO POR EL ING. JOSE EDUARDO CALDERÓN GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2007



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

**CALIDAD DE ALFOMBRA FABRICADA DE DESECHOS DE HULE
NATURAL**

Lester Oswaldo Tzunun Caal

Asesorado por el Ing. José Eduardo Calderón García

Guatemala, junio de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón.
VOCAL VI	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuel Milson
EXAMINADORA	Inga. Teresa Lisely De León Arana
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
EXAMINADOR	Ing. Eduardo Monroy Benítez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS Papito este logro es para darte la honra a ti. Te agradezco por permitirme conocerte y amarte.

MI MAMI Elvira Caal De Tzunun. Nunca dejaste de orar por mi, siempre estuviste conmigo, te quiero mucho.

MIS HERMANOS Olga, Lilian, Zoila, Lety, Angela, Claudia, Luis, Edin, Xiomara, Karin, por los momentos que hemos compartido juntos.

MIS AMIGOS Jorgito, Juan, Isha, Ana Ivett, Sarita, Deby, Allan, Marvin, Sonia, Brenda, Carolina Lemus, Ana Azurdia, Herminio Rodríguez, Omar Arias, Ingrid Paredes, Mynor Ramos, Geovani Chocooj, Rene Ixcot. Dios los bendiga toda la vida.

MIS PASTORES Carlos y Paty Ruiz, porque han sido provocadores de milagros. Han sido de bendición en mi familia y en mi vida.

MIS MAESTROS Ing. Calderón, Inga. Lisely de León, Ing. Posadas, Ing. Vherny Flores, Profa. Iris Julieta, Profa. Carlota de Leon.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presenta a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CALIDAD DE ALFOMBRA FABRICADA DE DESECHOS DE
HULE NATURAL,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha abril de 2007



Lester Oswaldo Tzunun Caal

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 15 de Febrero del 2007

Ingeniero
Williams Álvarez
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado ingeniero Williams

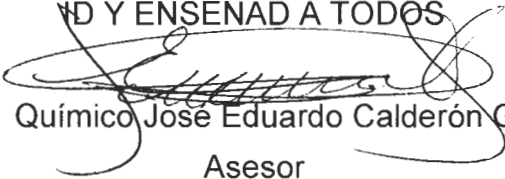
El motivo de la presente es para darle a conocer que he revisado el informe final del trabajo de graduación del estudiante Lester Oswaldo Tzunun Caal con carné N° 96-15599. Titulado: **CALIDAD DE ALFOMBRA, FABRICADA DE DESECHOS DE HULE NATURAL**. Haciendo la aclaración que hubo un cambio en el título original "FABRICACIÓN DE ALFOMBRAS A PARTIR DE DESECHOS DE HULE NATURAL" de este documento el cual fue planteado por el Ing. Orlando Posadas, asignado como revisor, aceptando como una buena observación dicha modificación, que aclara el tema de estudio.

Por lo que a mí confiere queda aprobado dicho informe final.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

CIENCIA Y ENSEÑANZA A TODOS

Ing.  Químico José Eduardo Calderón García

Asesor

Profesor titular VIII

Colegiado N° 244



Guatemala, 19 de abril de 2,007.

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

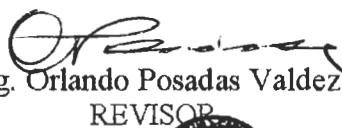
Estimado Ingeniero Álvarez.

Informo a usted que he revisado el Informe final del trabajo de Graduación titulado:
"CALIDAD DE ALFOMBRA FABRICADA DE DESECHOS DE HULE
NATURAL" del estudiante universitario Lester Tzunun Caal, carné No. 96-15599.

Luego de la revisión efectuada el suscrito considera que la propuesta llena los
requisitos para su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Orlando Posadas Valdez
REVISOR



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

c.c archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director a.i de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Otto Raúl de León de Paz Después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación del estudiante Lester Oswaldo Tzunun Caal titulado: “CALIDAD DE ALFOMBRA FABRICADA DE DESECHOS DE HULE NATURAL” procede a la autorización del mismo.

Ing. Otto Raúl de León de Paz
DIRECTOR . a.i
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, mayo 2,007



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CALIDAD DE ALFOMBRA FABRICADA DE DESECHOS DE HULE NATURAL**, presentado por el estudiante universitario **Lester Oswaldo Tzunun Caal**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, junio de 2007



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
ANTECEDENTES.....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Hule	1
1.2 Caucho natural.....	1
1.2.1 Recolección del látex.....	2
1.2.1.1 Producción de caucho.....	2
1.2.2 Propiedades físicas y químicas.....	3
1.2.3 Origen histórico.....	4
1.2.4 Plantaciones de caucho.....	5
1.2.5 Desarrollo de los procesos de producción.....	5
1.2.5.1 Inicios de recuperación de desechos.....	6
1.2.5.2 Prolongación de la vida del caucho.....	7
1.2.6 Procesos de fabricación modernos.....	7
1.2.6.1 Aditivos.....	8

1.2.6.2	Máquinas masticadoras.....	9
1.2.6.3	Máquinas mezcladoras.....	10
1.2.6.4	Calandrado.....	11
1.2.6.5	Extrusión.....	11
1.2.6.6	Vulcanización.....	12
1.2.6.7	Espuma de caucho y productos moldeados.....	12
1.2.7	Aplicaciones	13
1.2.8	Producción del caucho.....	14
1.3	Caucho sintético	15
1.3.1	Desarrollo	16
1.3.2	Tipos de caucho sintético	16
1.3.2.1	Neopreno.....	17
1.3.2.2	Buna o caucho artificial.....	17
1.3.2.3	Caucho de butilo.....	17
1.3.2.4	Otros cauchos especiales	18
1.4	Desechos de hule y la contaminación en Guatemala.....	19
1.4.1	Los desechos sólidos especiales.....	19
1.4.2	Grado de contaminación de desechos de hule.....	20
1.4.2.1	Contaminación en el aire por combustión de hule	21
1.4.3	Forma de desechos actuales.....	22
1.4.3.1	Planta de manufactura de hule.....	25
1.4.3.2	Acumulación de desechos de hule en nuestro país.....	26
1.4.3.3	Beneficios de disposición final.....	27

1.4.3.4	Legislación de los desechos especiales...	27
---------	---	----

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

2.1	Fase I	29
2.2	Fase II.....	30
2.2.1	Análisis físico	30
2.2.1.1	Selección de hule reciclado.....	30
2.2.1.2	Selección del tamaño de la muestra a fabricar.....	31
2.2.1.3	Proceso de fabricación de la muestra....	33
2.2.1.4	Determinación de propiedades mecánicas.....	34
2.2.2	Localización.....	35
2.3	Fase III	36
3.	RESULTADOS.....	37
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
	CONCLUSIONES.....	43
	RECOMENDACIONES.....	45
	REFERENCIAS.....	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de producción de caucho natural.....	15
2.	Grafica de formas de desechos de hule.....	23
3.	Problema de contaminación.....	24
4.	Medidas de la alfombra fabricada.....	32
5.	Alfombra fabricada.....	32

TABLAS

I.	Desechos de la fabricación de neumáticos.....	19
II.	Acumulación de productos de hule en Kg.....	26
III.	Medidas de la muestra a fabricar.....	31
IV.	Formulación final.....	33
V.	Equipo a utilizar.....	33
VI.	Condiciones de trabajo óptima	33
VII.	Propiedades mecánicas.....	37
VIII.	Resultado de las medidas de la muestra.....	37

LISTA DE SÍMBOLOS

A.S.T.M.	Sociedad Americana para Pruebas de materiales
cm³	Centímetro cúbico
KPa	Kilopascal
MM	Masa molecular
MPa	Megapascal
MGA	Métodos Generales de Análisis
μ	Micra
mμ	Micrómetro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
NCA	Niveles de calidad aceptable
ppm	Partes por millón
%	Por ciento
t	Tonelada métrica

GLOSARIO

Burbuja	Inclusión gaseosa dentro de la masa del producto.
Deformación	Alteración de la forma definida.
Desmoronamiento	Deshacer y arruinar poco a poco las aglomeraciones que tienen cierta cohesión.
Diámetro	Medida que sirve para identificar la sección circular.
Fisura	Grieta en la masa del producto.
Ondulación	Elevación que se forma en algunos objetos.
Oquedad	Burbuja rota o espacio que en un cuerpo sólido queda vacío.
Orificio	Abertura de forma más o menos circular, causada por manipulación o malos procesos de fabricación.
Rebaba	Porción de material sobrante que forma resalto en la superficie o bordes de un objeto.
Rotura	Abertura en un cuerpo.
Rugosidad	Pliegues deformes o irregulares.
Shore A	Escala de dureza utilizada para materiales elastoméricos como caucho.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en evaluar la calidad de las alfombras, que se fabrican a partir de hule natural reciclado, a nivel de planta industrial. El hule natural reciclado se examinó y seleccionó, según las especificaciones siguientes: sin presentar quemaduras, agrietadura ni hacerse quebradizo o pegajoso; bajo condiciones normales (25 ° C y 1 atm. de presión). Con el propósito de tener un producto de calidad, seguro y durable.

A la alfombra fabricada de hule natural reciclado se le realizaron pruebas que incluye inspección visual, determinación de medidas y evaluación de propiedades mecánicas. Estas pruebas se evaluaron en las instalaciones de la planta de fabricación de elastómeros de poliuretano de la empresa ESSA, S.A., ubicada en 18 AV. 41-43 zona 8, Ciudad Guatemala.

Con la muestra fabricada se determinó que las alfombras obtenidas son resistentes a esfuerzo mecánico, que las hace útiles para recubrir áreas donde se desee proteger el suelo, también se podrá utilizar como soporte de objetos pesados.

ANTECEDENTES

Guatemala ha tenido en los últimos años una creciente producción de hule natural, en el año 1,987 se producían cerca de 10,000 toneladas métricas y en el año 1,997 34,000 toneladas métricas; es decir, existe un antecedente sobre el crecimiento de producción de hule en nuestro país. El 45% se comercializa en forma de látex concentrado, este dato contrasta con el consumo mundial, en donde únicamente el 8% se emplea en forma de látex, el restante 92% se consume en forma sólida y de esto sólo la industria automovilística consume el 70%. Es sin duda aquí, donde se encuentra la explicación del por qué en los últimos 5 años se han hecho grandes inversiones para aumentar la capacidad de producción de hule seco a 6.5 toneladas métricas por hora (t/h). La curva creciente de producción no se detiene y se estima que para el año 2,005 sea de 50,000 t.

Pese a ser productores del 0.5% de la producción mundial en 1997, la estabilidad en los precios del producto de hule crudo se han visto seriamente afectados por los fenómenos financieros asiáticos, donde radican los grandes productores. De allí que la rentabilidad de las plantaciones decreciera drásticamente. Ante esta perspectiva surge la necesidad de competir en el mercado con nuevos productos y de mejor calidad, que junto a nuevas estrategias de comercialización, levante los niveles de rentabilidad.

Ante esto, la industria nacional ha decidido ser productores de utensilios de hule, debido a que las exportaciones de hule natural crudo disminuyó y esto

hace que mayor parte de hule producido en el país circule en nuestro medio, y aumente la cantidad de desechos de hule. A esto se le suma la cantidad de artículos de hule que el país importa y al final de su uso terminan como desechos en los botaderos de nuestro país.

La cantidad que se observa en los botaderos de productos de hule como; llantas, cámaras de aires, mangueras, suelas, guantes, empaques, etc., es creciente, día a día esto aumenta sin ningún control y sin iniciativas de reciclaje, de aquí nace la necesidad de evaluar la calidad que puede proporcionar las alfombras fabricadas de estos desechos. Reciclar estos desechos creara una cultura de descontaminación del medio ambiente, y controlar la disposición en los botaderos.

JUSTIFICACIÓN

En Guatemala se acumula grandes cantidades de desechos de hule natural, derivados de una gran variedad de productos, de este material, esto por contar con la materia prima y una industria muy desarrollada sobre látex. Es importante mencionar que no se le ha dado un seguimiento al reciclaje de látex después que ha sido utilizado para obtener diferentes productos terminados, con lo cual la siguiente línea de investigación desarrolla una alternativa con fin ambiental y económico con perspectivas futuras para su industrialización.

La evaluación de alfombras fabricadas a partir de reciclaje de hule natural proporciona información sobre su rendimiento en función de propiedades mecánicas, impacto ambiental y desarrollo de una cultura de reciclaje. Proporcionando así información para que estudios posteriores establezcan su utilización a nivel industrial.

En los últimos años ha tomado importancia la concientización del impacto ambiental que puedan producir materiales de desechos sólidos no tratados, en esa dirección la investigación que se presenta se trata sobre una alternativa de reciclaje de hule natural, por considerar que es importante aumentar el interés por el estudio de desechos sólidos y sus respectivas formas de reciclaje

Esta investigación se justifica porque sugiere una propuesta para la solución al problema de la disposición de desechos sólidos especiales, contaminantes del ambiente, con lo que se contribuye a la reducción de la

disposición de desecho de hule natural. Con esta mentalidad se considera lograr un impacto ambiental y cultural, porque se contribuye a resolver problemas ambientales mediante el reforzamiento de la cultura de aprovechamiento de materiales de desecho.

El hule natural de látex es un material que tiene muchas aplicaciones en nuestra sociedad y sus formas de reciclaje son de gran interés por ser un material abundante y con una industria muy desarrollada.

OBJETIVOS

GENERAL

Demostrar la posibilidad de usar alfombras fabricadas a partir de desechos de hule natural, como un producto de necesidad humana y así volverse una alternativa para aprovechar los desechos sólidos que contaminan el ambiente.

ESPECÍFICOS

1. Dar a conocer al estudiante de ingeniería química, el proceso industrial del caucho en Guatemala, la demanda de este producto y la cantidad de desechos de hule que contaminan el medio ambiente.
2. Evaluar un producto útil, fabricado a partir de desechos de hule natural, que demuestre propiedades mecánicas resistentes para diferentes usos.
3. Proponer la alternativa de fabricar alfombras de desechos de hule, para aprovechar la disposición de estos desechos que, en gran cantidad, contaminan el medio ambiente y que, sin control, aumentan en nuestra sociedad.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación y experimentación consiste en evaluar la calidad que podrá aportar la alfombra fabricada a través del aprovechamiento de desechos de hule natural y, así, ser una alternativa de control de este contaminante que día a día aumenta en gran escala en nuestra sociedad. Los resultados obtenidos proporcionan una práctica que podrá aplicarse en nuestro medio.

A la evaluación de la alfombra fabricada con desechos de hule natural, se le fijaron parámetros y ensayos físicos con las normas A.S.T.M. del renglón 49T que son métodos especiales para hules, todas regidas a nivel de laboratorio, a realizarse en una planta fabricante de hule sintético estableciéndose mecanismos para la producción industrial cuyo beneficio sea favorable para la economía del país.

Actualmente, en nuestro país hay un crecimiento sin control de los desechos sólidos, el que puede observarse en diferentes centros de acopio y botaderos clandestinos, ubicados en el perímetro urbano y rural de la ciudad capital y departamentos de la república. Este es un problema de carácter económico y social en el país, que afecta a la población en general.

Los análisis para el tratamiento y presentación de alternativas para el aprovechamiento de los desechos de látex son limitados a ciertos espacios, como el uso en reencauche, las caleras la utilizan como fuente de combustible

y, artesanalmente se utiliza para reparación de calzado, su utilización no absorbe el volumen de dicho desecho, el cual como se señaló va en aumento.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Hule

Caucho o hule, sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados.

1.2 Caucho natural

En estado natural, el caucho aparece en forma de suspensión coloidal en el látex de plantas productoras de caucho. Una de estas plantas es el árbol de la especie *Hevea Brasiliensi*, de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas. Otra planta productora de caucho es el árbol del hule, *Castilloa elástica*, originario de México, muy utilizado desde la época prehispánica para la fabricación de pelotas, que se utilizaban en el juego de pelota, deporte religioso y simbólico que practicaban los antiguos mayas.

El caucho en bruto obtenido de otras plantas suele estar contaminado por una mezcla de resinas que deben extraerse para que el caucho sea apto para el consumo. Entre estos cauchos se encuentran el guayule, la gutapercha y la balata, que se extraen de ciertos árboles tropicales.

1.2.1 Recolección del látex

La obtención del caucho natural comienza con la recolección del látex, una sustancia blanca y lechosa producida por las células de diversas plantas mediante un corte inicial y retirando selectivamente la corteza, un árbol de caucho produce anualmente alrededor de 1.8 Kg de caucho en crudo.

1.2.1.1 Producción de caucho

La producción de látex concentrado da inicio desde el momento de la pica. Antes del corte, se debe adicionar de 2 a 3 mL de solución amoniacal, que evite la coagulación del hule. Es importante mantener altos niveles de asepsia en todo el equipo empleado para el manejo del producto. Al momento de recolectar en tambos de 15 galones se puede optar por el manejo en bolsa de plástico que permite aislar la superficie del recipiente del producto. Una ventaja es que puede reemplazarse fácilmente. En el campo se agrega de 1 a 1.5 litros de solución amoniacal por tarea. Una vez el látex es llevado al casco de la plantación, se debe agregar un 2% en volumen de solución amoniacal y un 2% en volumen de solución bactericida. (1 galón de amoniaco y 1 galón de bactericida por cada 50 galones de látex de campo) Tomando en cuenta el amoniaco vertido en el campo (1 litro por tarea) se considera un factor de dilución del 6% en total.

A continuación, en una trituradora de cilindros, se prensa en forma de láminas llamadas crepés. Finalmente, el caucho es ahumado, secado y embalado para su distribución a los fabricantes.

Para recoger el látex de las plantaciones, se practica un corte diagonal en ángulo hacia abajo en la corteza del árbol. El corte tiene una extensión de un tercio o de la mitad de la circunferencia del tronco. El látex exuda desde el corte y se recoge en un recipiente. La cantidad de látex que se extrae de cada corte suele ser de unos 30 mL. Después se arranca un trozo de corteza de la base del tronco para volver a tapar el corte, normalmente al día siguiente. Cuando los cortes llegan hasta el suelo, se deja que la corteza se renueve antes de practicar nuevos cortes. Se plantan unos 250 árboles por hectárea, y la cosecha anual de caucho bruto en seco suele ser de unos 450 Kg por hectárea. En árboles de alto rendimiento, la producción anual puede llegar a los 2,225 Kg por hectárea, y se ha conseguido desarrollar ejemplares experimentales que alcanzan los 3,335 Kg por hectárea. El látex extraído se tamiza, se diluye en agua y se trata con ácido para que las partículas en suspensión del caucho en el látex se aglutinen. Se prensa con unos rodillos para darle forma de capas de caucho de un espesor de 6mm y se seca al aire o con humo para su distribución.

1.2.2 Propiedades físicas y químicas

El caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo color blanco lechoso. El compuesto de caucho más simple es el isopreno o 2-metilbutadieno, cuya fórmula química es C_5H_8 . A la temperatura del aire es líquido, a bajas temperaturas, se vuelve rígido y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa, de 0 a 10 °C es frágil y calentado a más de 100 °C., se ablanda y sufre alteración permanente. El caucho bruto adquiere gran deformación permanente debido a su naturaleza plástica. A temperaturas de 200 °C o superiores se descompone.

El caucho puro es insoluble en agua, álcalis o ácidos débiles, y soluble en benceno, petróleo, hidrocarburos clorados y bisulfuro de carbono. Con agentes oxidantes químicos se oxida rápidamente, pero con el oxígeno de la atmósfera lo hace lentamente.

1.2.3 Origen histórico

Algunas propiedades y usos del caucho ya eran conocidos por los indígenas del continente americano mucho antes de que, a partir de 1492, los viajes de Colón llevaran el caucho a Europa. Los indios peruanos lo llamaban cauchuc, 'impermeable', de ahí su nombre. Durante muchos años, los españoles intentaron imitar, sin éxito, los productos de los nativos resistentes al agua (calzados, abrigos y capas). El caucho fue en Europa una mera curiosidad de museo durante los dos siglos posteriores.

En 1731, el gobierno francés envió en una expedición geográfica a América del Sur al geógrafo matemático Charles de La Condamine, quien, en el año 1736, hizo llegar a Francia varios rollos de caucho crudo junto con una descripción de los productos que fabricaban con ello las tribus del valle del Amazonas. Esto reavivó el interés científico por el caucho y sus propiedades. En 1770, el químico británico Joseph Priestley descubrió que las marcas y trazos hechos con lápices se borraban frotando con caucho y de ahí surgió su nombre en inglés, rubber. La primera aplicación comercial del caucho fue obra, del fabricante inglés Samuel Peal, que patentó en 1771 un método para impermeabilizar tejidos, tratándolos con caucho disuelto en trementina. Charles Macintosh, químico e inventor británico, fundó en 1823 una fábrica en Glasgow para manufacturar tejidos impermeables y ropa para la lluvia, que lleva desde entonces su nombre.

1.2.4 Plantaciones de caucho

Las mayores plantaciones de caucho se hallan en el sureste de Asia, aunque los árboles del caucho se han cultivado con éxito en otras partes del mundo. El caucho natural se obtiene del látex de diversas plantas, generalmente de la familia de las Euforbiáceas. Las plagas de sus hojas suelen atacar al árbol del caucho en las regiones tropicales del hemisferio occidental, por lo que en esas zonas es más conveniente producir caucho sintético para no depender de fuentes naturales.

La mayor parte del siglo XIX, los árboles tropicales de América del Sur continuaron siendo la fuente principal de obtención del caucho. En 1876, el explorador británico Henry Wickham recolectó una gran cantidad de semillas de *Hevea brasiliensis* y a pesar del rígido embargo que había, logró sacarlas de contrabando fuera de Brasil. Consiguió germinarlas con éxito en los invernaderos de los Reales Jardines Botánicos de Londres y las empleó para establecer plantaciones en Ceilán (Sri Lanka en la actualidad) y posteriormente en otras regiones tropicales de Asia. Desde entonces se han creado plantaciones similares en áreas comprendidas hasta unos 1,100 Km. a ambos lados del ecuador. Aproximadamente un 99% de las plantaciones de caucho están localizadas en el Sureste asiático. Intentos de introducir plantaciones en zonas tropicales de Occidente han fracasado a causa de la desaparición de árboles por una plaga en sus hojas.

1.2.5 Desarrollo de los procesos de producción

En 1834, el químico alemán Friedrich Ludersdorf y su colega estadounidense Nathaniel Hayward descubrieron que si le añadían azufre a la

goma de caucho, reducían y eliminaban la pegajosidad de los artículos de caucho. En 1839, el inventor estadounidense Charles Goodyear, basándose en las averiguaciones de los químicos anteriores, descubrió que cocinando caucho con azufre desaparecían las propiedades no deseables del caucho, en un proceso denominado vulcanización. El caucho vulcanizado tiene más elasticidad y mayor resistencia a los cambios de temperatura que el no vulcanizado; además es impermeable a los gases y resistente a la abrasión, a los agentes químicos, al calor y a la electricidad. También posee un alto coeficiente de rozamiento en superficies secas y un bajo coeficiente de rozamiento en superficies mojadas por agua.

1.2.5.1 Inicio de recuperación de desechos

Poco después de la invención del neumático o llanta de goma en 1887, el fabricante estadounidense Chapman Mitchel fundó una nueva rama de la industria introduciendo un proceso de recuperación del caucho de desecho con ácido, reciclándolo para usarlo en nuevos productos. Para ello empleó ácido sulfúrico, que destruye los tejidos incorporados al caucho y después, al calentarlo, consiguió que el caucho adquiriera la plasticidad suficiente para incorporarlo en lotes de caucho crudo. Alrededor de 1905, el químico estadounidense Arthur H. Marks inventó el proceso de recuperación alcalina y estableció el primer laboratorio de fábrica de caucho. Este método permitió reciclar grandes cantidades de caucho sin rebajar sustancialmente la calidad del producto acabado. Al año siguiente, el químico estadounidense George Oenslager, que trabajaba en el laboratorio de Marks investigando el uso de caucho de baja graduación en los procesos de fabricación, descubrió aceleradores orgánicos de la vulcanización, como la fenilamina y la tiocarbanilida. Estos aceleradores no sólo reducían en un 60-80% el tiempo

necesario de calentamiento para la vulcanización, sino que además mejoraban la calidad del producto.

1.2.5.2 Prolongación de la vida del caucho

El siguiente gran avance en la tecnología del caucho llegó una década más tarde, con la invención del horno acelerador del envejecimiento del caucho para medir su deterioro. Este horno conseguía duplicar en pocos días los resultados de años de uso corriente. Ello permitió a los técnicos medir rápidamente el deterioro causado por ciertas condiciones, en especial la exposición al oxígeno de la atmósfera. El uso de estos hornos llevó a los científicos a añadir agentes antioxidantes al caucho, consiguiendo prolongar la vida de productos como los neumáticos de los automóviles. En pocos años surgieron nuevos compuestos químicos que retenían marcadamente el deterioro de artículos de caucho blando, como guantes, láminas y tuberías.

Otro gran avance en la tecnología del caucho ha sido el empleo de látex no coagulado. Se desarrollaron métodos para moldear el caucho en fibras finas destinadas a la manufactura de tejidos, como los usados para ropa elástica y también para el electro chapado del caucho en metales y otros materiales.

1.2.6 Procesos de fabricación modernos

En las fábricas los operarios manejan láminas de látex prensadas por una máquina satinadora. En el proceso de satinado, el látex natural tratado se hace pasar por unos rodillos, estos producen el suficiente calor para dar al látex su textura y crear láminas lisas o para producir una capa fina.

En la fabricación moderna de artículos de caucho natural se trata el caucho en máquinas con otras sustancias. La mezcla se procesa mecánicamente sobre una base, colocándose luego en moldes para su posterior vulcanizado.

Las fuentes principales del caucho puro son las láminas y planchas del látex de las plantaciones del árbol Hevea, además del látex no coagulado empleado en algunas industrias. El caucho reciclado, calentado con álcali de 12 a 30 horas, puede emplearse como adulterante del caucho crudo para reducir costos de fabricación, del producto. La cantidad de caucho reciclado que se puede utilizar dependerá de la calidad del artículo que se quiera fabricar.

1.2.6.1 Aditivos

En la mayoría de los casos, el caucho bruto se mezcla con numerosas sustancias que modifican sus características. Existen aditivos que estiran el caucho pero no lo endurecen materialmente, como el carbonato de calcio y la baritina o sulfato de bario. También se añaden otras sustancias reforzantes para dar dureza al producto final, como el negro de humo, óxido de cinc, el carbonato de magnesio y ciertas arcillas. Otros aditivos que se emplean son pigmentos, como el óxido de cinc, el litopón y muchos tintes orgánicos, y ablandadores, como ciertos derivados del petróleo (aceites y ceras), la brea de pino o los ácidos grasos, que se usan cuando el caucho es demasiado rígido para mezclarse con otras sustancias.

El principal agente vulcanizante sigue siendo el azufre. El selenio y el telurio también se emplean, pero generalmente con una elevada proporción de

azufre. En la fase de calentamiento del proceso de vulcanización, se mezcla el azufre con el caucho a la vez que con el resto de los aditivos. La proporción azufre-caucho varía aproximadamente entre una relación de 1:40 para el caucho blando y 1:1 para el caucho duro. La vulcanización en frío, que se utiliza para fabricar artículos de caucho blando como guantes y artículos de lencería, se lleva a cabo por exposición al vapor de cloruro de azufre (S_2Cl_2). Los agentes aceleradores de la vulcanización que se empleaban en un principio eran solamente óxidos metálicos como el blanco de plomo y la cal. A partir de los descubrimientos de Oenslager se empezaron a utilizar una gran variedad de aminas orgánicas.

1.2.6.2 Máquinas masticadoras

Antes de mezclarlo con otras sustancias, el caucho es sometido a un proceso de masticación, que lo vuelve suave, pegajoso y plástico. En este estado, el caucho está en mejores condiciones para mezclarse con otras sustancias como pigmentos, agentes vulcanizantes y otros aditivos secos. El proceso de masticación se realiza en un molinos de rodillos, en una mezcladora interna o en un plastificador helicoidal.

En los molinos de rodillos consiste en hacer pasar varias veces el material entre dos rodillos horizontales paralelos que giran en direcciones opuestas hasta que se forma una tela bastante coherente momento en el operador realiza cortes a la lamina de caucho y se repite el proceso desde el otro extremo del rodillo. Al final del tiempo prescrito, el caucho se separa en forma de grandes láminas y se enfría antes de apilarlo sobre los polines.

Los mezcladores internos, conocidos como mezclador de Banbury, donde se realiza el mecanismo de impulsión y de mezcla. Esta maquina consiste en dos rotores que giran en distintas velocidades, dentro de ellos puede circular agua o vapor para realizar la refrigeración o el calentamiento. Se carga el caucho directamente en una cámara, se baja el pisón para ejercer presión sobre la carga y se efectúa la masticación en el tiempo prescrito.

El plastificador Gordón, es una gran máquina helicoidal que recibe el caucho por una tolva, realiza la masticación por el tornillo sin fin y expulsa el caucho por extrusión, el tornillo sin fin del plastificador es hueco para hacer pasar agua o vapor, si se quiere enfriar o calentar.

1.2.6.3 Máquinas mezcladoras

El siguiente paso del proceso son las máquinas mezcladoras. Éstas se asemejan a las máquinas masticadoras, ya que en ambos casos tienen dos rodillos, pero en las mezcladoras, ambos rodillos giran en sentidos opuestos, mientras que en las masticadoras giran en el mismo sentido, pero a diferente velocidad. También se utilizan máquinas mezcladoras de cilindros cerrados para elaborar disoluciones y pegamentos de caucho mezclado con disolventes. Estos productos líquidos del caucho se emplean en tejidos impermeables y en artículos a los que se da forma introduciendo un molde en la disolución, como en el caso de los guantes de goma. Sin embargo, los ingredientes se mezclan casi siempre en frío para su posterior fabricación. Los más importantes de estos procesos son el calandrado y la extrusión.

1.2.6.4 Calandrado

Una vez plastificado y mezclado con otros ingredientes, el caucho pasa a un proceso de calandrado o extrusión, dependiendo del uso que se le quiera dar. Las maquinas de calandrado consisten en tres, cuatro o cinco rodillos del mismo diámetro. La velocidad de rotación y la distancia entre los rodillos son regulables, según el producto que se desee elaborar. Las calandrias se usan para producir láminas de caucho con o sin dibujos, como las estrías en los neumáticos de los automóviles, para comprimir el caucho y darle textura de tejidos o cuerdas, y para revestimiento del caucho con más capas. Los productos obtenidos con las calandrias pasan generalmente por otros procesos, como en el caso de la fabricación de neumáticos, antes de su vulcanización.

1.2.6.5 Extrusión

En este proceso se prensa el caucho a través de un tornillo sin fin que gira en un cilindro fijo, haciendo tiras aplastadas, tubulares o de una forma determinada. Este proceso se emplea en la fabricación de tuberías, mangueras y productos para sellar puertas y ventanas. También existen procesos de extrusión específicos para el revestimiento de fibras en forma de tubo para mangueras a presión, que usa una cabeza lateral por la que pasa la fibra o la armazón de manguera en una dirección perpendicular al eje del tornillo de extrusión.

1.2.6.6 Vulcanización

Vulcanización es la operación que convierte una composición mixta esencialmente plástica en esencialmente elástica, El término fue empleado en un principio para designar el calentamiento del caucho con azufre; pero actualmente ha sido extendido a todo proceso que con una composición cualquiera de materiales puede producir el mismo efecto. Una vez fabricados, la mayoría de los productos del caucho se vulcanizan bajo presión y alta temperatura. Muchos productos se vulcanizan en moldes y se comprimen en prensas hidráulicas, aunque la presión necesaria para una vulcanización eficaz se puede conseguir sometiendo el caucho a la presión externa o interna del vapor durante el calentamiento. Algunos tipos de mangueras para jardinería se revisten con plomo y se vulcanizan haciendo pasar vapor saturado a una presión señalada dependiendo del aparato hasta que la vulcanización sea completa por la abertura de la manguera, comprimiéndose la manguera de caucho contra el plomo. Una vez acabado el proceso, el plomo se saca de la manguera y se funde para volverlo a usar. Del mismo modo se emplea el revestimiento de estaño para producir ciertos aislantes eléctricos de alta capacidad.

1.2.6.7 Espuma de caucho y productos moldeados

La espuma de caucho se elabora directamente a partir del látex con sustancias emulsionantes. Se bate mecánicamente la mezcla en una máquina espumante, formando una espuma con millones de burbujas de aire, se añade el agente de gelación (el mas común es el fluosilicato de sodio) que se vierte en moldes y se vulcaniza por calentamiento para fabricar objetos como colchones y almohadas.

El látex puede moldearse para hacer artículos como juguetes o guantes de goma, introduciendo moldes de porcelana o de yeso blanco en látex concentrado. Una capa de látex se adhiere al molde y se extrae después de la vulcanización.

1.2.7 Aplicaciones

Comparado con el caucho vulcanizado, el caucho no tratado tiene muy pocas aplicaciones. Se usa en cementos, cintas aislantes, cintas adhesivas y como aislante en mantas y zapatos. El caucho vulcanizado tiene otras muchas aplicaciones. Por su resistencia a la abrasión, el caucho blando se utiliza en los dibujos de los neumáticos de los automóviles y en las cintas transportadoras; el caucho duro se emplea para fabricar carcasas de equipos de bombeo y tuberías utilizadas para perforaciones con lodos abrasivos.

Por su flexibilidad, se utiliza frecuentemente para fabricar mangueras, neumáticos y rodillos para una amplia variedad de máquinas, desde los rodillos para escurrir la ropa hasta los instalados en las rotativas e imprentas. Por su elasticidad se usa en varios tipos de amortiguadores y mecanismos de las carcasas de máquinas para reducir las vibraciones. Al ser relativamente impermeable a los gases se emplea para fabricar mangueras de aire, globos y colchones. Su resistencia al agua y a la mayoría de los productos químicos líquidos se aprovecha para fabricar ropa impermeable, trajes de buceo, tubos de laboratorio y sondas para la administración de medicamentos, revestimientos de tanques de almacenamiento, máquinas procesadoras y vagones aljibes para trenes. Por su resistencia a la electricidad, el caucho blando se utiliza en materiales aislantes, guantes protectores, zapatos y mantas, y el caucho duro

se usa para las carcasas de teléfonos, piezas de aparatos de radio, medidores y otros instrumentos eléctricos.

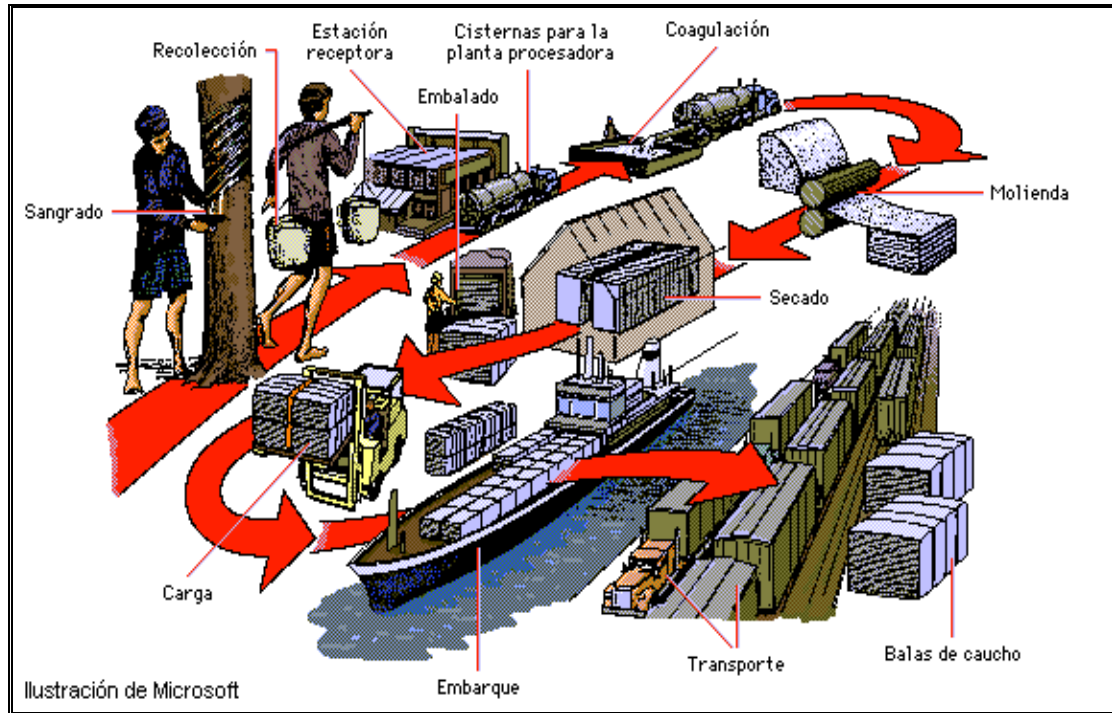
El coeficiente de rozamiento del caucho, alto en superficies secas y bajo en superficies húmedas, se aprovecha para correas de transmisión y cojinetes lubricados con agua en bombas para pozos profundos.

1.2.8 Producción del caucho

La extensión de las zonas dedicadas al cultivo del caucho alcanzó su apogeo en los años inmediatamente anteriores a la II Guerra Mundial (1939-1945). En las posesiones británicas de la India, Ceilán (hoy Sri Lanka), Malasia y el archipiélago Malayo, las plantaciones llegaron a ocupar cerca de 1,800,000 hectáreas. En las Indias Orientales bajo dominio holandés (hoy Indonesia), una extensión de cultivos de 1,400,000 hectáreas completaban las 3,600,000 hectáreas del total mundial, antes de la gran destrucción de cultivos del Lejano Oriente durante la II Guerra Mundial.

La importancia política y económica del caucho natural se puso en evidencia en el transcurso de dicha contienda, cuando se suspendió el suministro. Este fenómeno aceleró el desarrollo del caucho sintético en algunos países. En 1990, la producción mundial de caucho superó los 15 millones de toneladas, de las cuales 10 millones fueron de caucho sintético.

Figura 1. Proceso de producción del caucho natural, en bruto.



Fuente: <http://www.Monografías.com>

1.3 Caucho sintético

Puede llamarse caucho sintético a toda sustancia elaborada artificialmente que se parezca al caucho natural. Se obtiene por reacciones químicas, conocidas como condensación o polimerización, a partir de determinados hidrocarburos insaturados. Los compuestos básicos del caucho sintético, llamados monómeros, tienen una masa molecular relativamente baja y forman moléculas gigantes denominadas polímeros. Después de su fabricación, el caucho sintético se vulcaniza.

1.3.1 Desarrollo

El origen de la tecnología del caucho sintético se puede situar en 1860, cuando el químico británico Charles Hanson Greville Williams descubrió que el caucho natural era un polímero del monómero isopreno, cuya fórmula química es $\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2$. Durante los setenta años siguientes se trabajó en laboratorio para sintetizar caucho utilizando isopreno como monómero. También se investigaron otros monómeros, y durante la I Guerra Mundial químicos alemanes polimerizaron dimetilbutadieno (de fórmula $\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$), y consiguieron sintetizar un caucho llamado caucho de metilo, de pocas aplicaciones.

Hubo que esperar hasta 1930 para que dos químicos, el estadounidense Wallace Hume Carothers y el alemán Hermann Staudinger, investigaran y contribuyeran al descubrimiento de los polímeros como moléculas gigantes, en cadena, compuestas de un gran número de monómeros. Entonces se consiguió sintetizar caucho de monómeros distintos al isopreno.

La investigación iniciada en Estados Unidos durante la II Guerra Mundial condujo a la síntesis de un polímero de isopreno con una composición química idéntica al caucho natural.

1.3.2 Tipos de caucho sintético

Se producen varios tipos de caucho sintético: poliuretano, neopreno, buna, caucho de butilo, y otros cauchos especiales como el coroseal y tiocol que se han desarrollado con propiedades específicas.

1.3.2.1 Neopreno

Uno de los primeros cauchos sintéticos logrados gracias a la investigación de Carothers fue el neopreno, el polímero del monómero cloropreno, de fórmula $\text{CH}_2=\text{C}(\text{Cl})\text{CH}=\text{CH}_2$. Las materias primas del cloropreno son el etino y el ácido clorhídrico. El neopreno fue desarrollado en 1931 y es resistente al calor y a productos químicos como aceites y petróleo. Se emplea en tuberías de conducción de petróleo y como aislante en cables y maquinaria.

1.3.2.2 Buna o caucho artificial

Químicos alemanes sintetizaron en 1935 el primero de una serie de cauchos sintéticos llamados buna o cauchos buna, obtenidos por copolimerización, que consiste en la polimerización de dos monómeros denominados comonómeros. La palabra buna se deriva de las letras iniciales de butadieno, uno de los comonómeros, y natrium (sodio), empleado como catalizador. En la buna N, el otro comonómero es el propenitrilo ($\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CN})$), que se produce a partir del ácido cianhídrico. La buna N es muy útil en aquellos casos en los que se requiere resistencia a la acción de aceites y a la abrasión. También se obtiene caucho industrialmente por copolimerización de butadieno y estireno (buna S).

1.3.2.3 Caucho de butilo

Este tipo de caucho sintético, producido por primera vez en 1949, se obtiene por copolimerización de isobutileno con butadieno o isopreno. Es un plástico y puede trabajarse como el caucho natural, pero es difícil de vulcanizar.

Aunque no es tan flexible como el caucho natural y otros sintéticos, es muy resistente a la oxidación y a la acción de productos corrosivos. Debido a su baja permeabilidad a los gases, se utiliza en las cámaras interiores de los neumáticos.

1.3.2.4 Otros cauchos especiales

Se han desarrollado numerosos tipos de cauchos con propiedades específicas para aplicaciones y usos especiales. Uno de estos cauchos especiales es el coroseal, un polímero de cloruro de vinilo (CH_2CHCl). Estos polímeros son resistentes al calor, la corrosión y la electricidad, y no se deterioran por la acción de la luz ni por un almacenamiento prolongado. El coroseal no se puede vulcanizar, pero mientras no se le someta a altas temperaturas, se muestra más resistente a la abrasión que el caucho natural o el cuero.

Otro tipo de caucho especial es el tiocol, que se obtiene por copolimerización de dicloruro de etileno (CHCl_2CHCl) y tetrasulfuro de sodio (Na_2S_4). Puede trabajarse y vulcanizarse como el caucho natural y es resistente a la acción de los aceites y los disolventes orgánicos usados en barnices; se emplea para aislamientos eléctricos pues no se deteriora con la luz ni la electricidad.

Muchos otros tipos de caucho sintético se producen con métodos parecidos a los antes descritos. La introducción de algunos cambios en los procesos de polimerización ha mejorado la calidad de los productos y abaratado costes. Uno de los mayores avances ha sido la utilización del petróleo como aditivo, bajando los costes al poder conservarse grandes cantidades de caucho

sintético almacenado. Gracias a ello se ha conseguido fabricar neumáticos de larga duración. Otros dos avances importantes son el desarrollo de la espuma de caucho sintética, que se usa en tapicería, colchones y almohadas, y el caucho bruto de superficie arrugada, para la industria del calzado.

1.4 Desechos de hule y la contaminación en Guatemala

1.4.1 Los desechos sólidos especiales

Son considerados desechos sólidos especiales, todos aquellos desechos que son producidos por; restos animales, vehículos, electrodomésticos y bienes de línea blanca, baterías de plomo, productos de hule abandonados.

Entre los desechos sólidos figuran los neumáticos usados, por la dificultad de disposición final.

La industria de fabricación produce desechos en los diferentes procesos. A continuación se describe los desechos que se generan en las fábricas de neumáticos:

Tabla I. Desechos en la fabricación de neumáticos.

Operación	Tipo de residuo	Característica
Pesado de hule y mezclado de bambury	Residuos sólidos y emisiones al aire	Trozos de hule crudo, natural y mezclado
Extrusión de hule	Residuos sólidos	Trozos de hule crudo
Calandrado	Emisiones al aire	Residuos de hule crudo
Recorte de cejas y empalme	Trozos de cejas	Alambres de acero recubiertos de hule
Inspección final	Residuos sólidos	Rebabas y restos de hule vulcanizado.

Fuente: Departamento de Ingeniería. Goodyear de Guatemala, S.A.

1.4.2 Grado de contaminación de desechos de hule

Se le asocian tres grandes problemas de contaminación. En primer lugar, pueden incendiarse. Una vez que se están quemando, es muy difícil apagarlo. La combustión del hule produce cantidades de hidrocarburos no quemados (humo negro espeso) y emisiones nocivas para la atmósfera.

En segundo lugar, la forma en que tiende a acumularse y actuar como depósitos de aguas pluviales el cual crea un terreno ideal para la producción de mosquitos, estos mosquitos son transmisores de enfermedades.

En tercer lugar, la presencia de agua, calor y ausencia de luz, se vuelven lugares ideales para la vida de roedores.

1.4.2.1 Contaminación en el aire por combustión de hule

Todos los residuos de hule cuando son quemados o utilizados como combustible, crean contaminación en el aire, debido a que los sistemas de combustión no son apropiados, así como tampoco lo son las chimeneas, sumando a esto la carencia de filtros. La combustión incompleta y no controlada de estos residuos, genera los siguientes productos de combustión que son considerados dañinos para el medio ambiente, la flora, la fauna y el ser humano.

- Monóxido de carbono
- Xileno
- Hollín
- Óxido de nitrógeno
- Dióxido de carbono
- Óxido de zinc
- Fenoles
- Benceno
- Óxido de plomo

El depósito de los desechos de hule vulcanizado en vertederos crea además altos riesgos de incendios debido a la acumulación y no degradación de estos

1.4.3 Formas de desechos actuales

Para poder definir y presentar estadísticas de las formas en que son desechados los residuos de hule vulcanizado de las distintas fuentes, se desarrollo un sistema de encuesta, para definir de la población una muestra que fuese representativa. El estudio se centró en el área comprendida por la ciudad de Guatemala y el botadero AMSA en el kilómetro 22 ruta al pacifico debido a la concentración de industria y botaderos de la región.

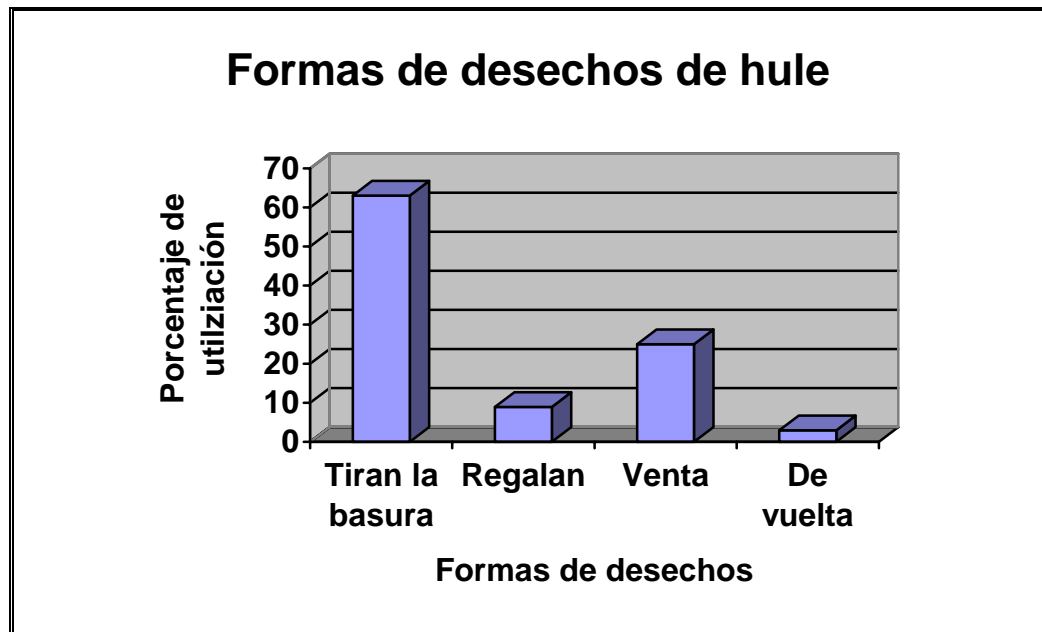
Se eligieron entre todos los botaderos visibles del casco urbano, una serie de preguntas alrededor del lugar y vecinos donde se han acumulado esta cantidad de desechos, para darnos referencias sobre su origen de los desechos, tiempo en que dura para ser removidos, grado en que perjudica en la salud de sus familias y uso final que determinan para su eliminación. Este muestreo genero una idea concreta en que representa el problema de los desechos de hule.

El estudio revela que un 37% de los usuarios de productos de hule, deciden dejarlos en los centros de servicios donde compran y cambian sus neumáticos, mientras el restante 63% deciden llevárselos. Los representantes de los comercios argumentan que los clientes que se los llevan, en su mayoría lo hacen para ver de que forma los venden o llegan a obtener algo a cambio por

sus piezas de hule ya usado. Esto revela que los usuarios finales al no lograr obtener algo a cambio, se deshacen de estos tirándolos en basureros clandestinos, en las mismas calles y barrancos. El porcentaje de clientes que deciden llevarse las piezas que cambian es grande y se debe en gran parte a que no existen regulaciones legales que les impidan llevárselos.

En la figura 2, se puede apreciar las formas que toman las personas para deshacerse de los productos de hule

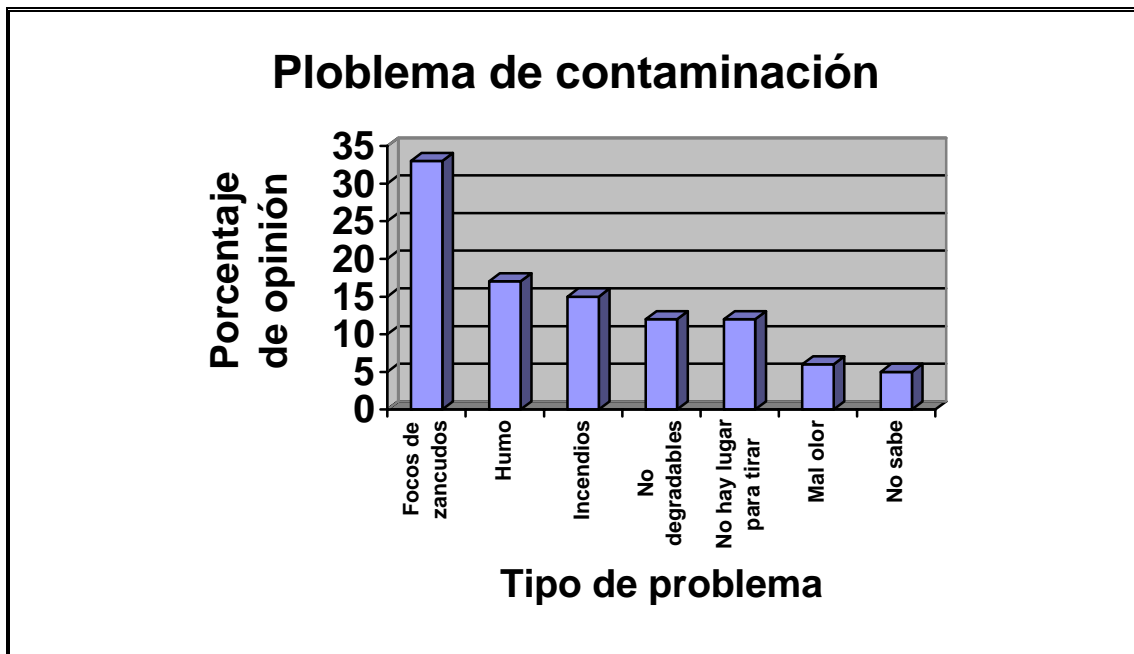
Figura 2. Gráfico de formas de desechos de hule.



Fuente: encuesta realizada a vecinos y comercios donde se ubican botaderos.

Se deduce que el 63% prefiere tirar a la basura los desechos de hule, el 25% ponen a la venta, el 9% regalan los desechos y un 3% deciden dejarlos donde compran las nuevas piezas para no tener que deshacerse de éstos posteriormente.

Figura 3. Gráfico de opinión de los problemas que generan los desechos de hule que afectan la salud.



Fuente: encuesta realizada a vecinos y comercios cercanos donde se ubican botaderos.

Esta figura señala que un 33% de la muestra reconoce que los desechos pueden acumular agua y de esta, crearse focos de zancudos que provocan enfermedades. Un 17% opina que el humo es un contaminante serio para la salud y el ambiente; el 15% lo que le preocupa son los incendios que puedan darse por estos desechos, un 12% opina que el problema ambiental se da porque estos desechos no son degradables y por lo tanto se acumulan sin consumirse. Otra opinión que ocupa también el 12% es que no tienen lugares para poder tirar estos desechos. El restante 6% creen que el problema se da por el mal olor que generan estos desechos al estar acumulados sin movimiento y el 5% no sabe de qué manera puedan llegar a contaminar estos desechos.

1.4.3.1 Planta de manufactura de hule

Los datos referentes a la industria del hule, fueron obtenidos del departamento de ingeniería de Goodyear de Guatemala, quienes amablemente atendieron la solicitud de proporcionar información respecto al tema de desechos de hule.

Goodyear de Guatemala, S.A. Cuenta desde noviembre de 2002 con el sistema de gestión ambiental certificado bajo las normas de ISO 14001, por lo que se responsabiliza por la disposición final que se les da a los desechos que éstos produzcan.

A continuación se describen las formas de disposición final para los desechos producidos en el proceso de fabricación de neumáticos en esta empresa:

Pigmentos y Negros de humo: Estos componentes durante el proceso de mezclado caen al suelo, por lo que al ser recogidos del suelo, han sufrido contaminación, por lo que se imposibilita su reutilización en el proceso; así que son vendidos a otros grupos que son manufactureros de hule, este es el caso de fabricantes de mangueras negras, que utilizan estos desechos como materia prima para la pigmentación de las mangueras.

Los trozos de hule crudo no pueden ser reutilizados en el proceso, debido a que en cada operación sufren cierto grado de vulcanización, de modo que al ser reutilizados, las mezclas no serían homogéneas y habría reducción de calidad en las materias primas. Así que este hule es recolectado por

personas dedicadas a elaborar otros productos como: cargadores industriales y automotrices, sellos y caites.

De los demás residuos como el hule con tejido, rebabas de hule vulcanizado, polvo de hule vulcanizado y trozos de ceja son depositados en un apartado específico del vertedero en la zona 3 de la ciudad capital a donde son enviados por las empresas.

1.4.3.2 Acumulación de desechos en nuestro país

Esta sección realiza un análisis para determinar la cantidad de desechos que se da en el casco urbano de Guatemala y en el botadero AMSA ubicado en el km. 22

Las importaciones de productos de hule, están registradas en el Departamento de Estadística Económica del Banco de Guatemala. Dichas estadísticas están presentadas en peso (Kg) como producto bruto

Tabla II. Acumulación de productos de hule en Kg

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Total	5,866,925.85	13,510,946.36	22,738,007.59	31,234,850.50	39,839,971.11	48,411,151.51

Fuente: Dpto. Estadística Banco de Guatemala.

Se puede notar que en el periodo correspondiente del año 1998 al año 2003 se han acumulado aproximadamente 43,156 toneladas métricas.

1.4.3.3 Beneficios de disposición final

Los beneficios que conlleva la recuperación de desechos de hule, de los distintos procesos de la industria, son:

- Disminución de enfermedades respiratorias ocasionadas por la inhalación de humos y gases tóxicos de la quema de productos de hule.
- Recuperación de materias primas: trozos y pedazos de hule, polvo de hule, negro de humo, tela pulverizada.
- Eliminación de un desecho no biodegradable y no compactable, de difícil manipulación y compleja disposición final. Es común que los desechos de hule tiendan a aparecer en las superficies de la tierra luego de ser enterrados.

1.4.3.4 Legislación de los desechos especiales

En el reglamento municipal de los desechos sólidos de la ciudad de Guatemala, se norma de recoger los desechos domiciliarios, comerciales, hospitalarios e industriales a fin de velar por la adecuada recolección de los diferentes tipos de desechos y así controlar la limpieza de la ciudad. En lo que respecta al orden de los desechos sólidos especiales como se han descrito en el capítulo anterior, no se enfatiza en tratamientos especiales para estos residuos.

A través del reglamento municipal se prohíbe abandonar neumáticos en la vía pública, así como también se prohíbe la quema de éstos.

No existen regulaciones específicas referentes a los desechos de neumáticos que incluya:

- Las medidas o sanciones a tomar por el abandono de los neumáticos en la vía pública, así como la prohibición del abandono en cauces de agua o terrenos baldíos.
- Las obligaciones que deben contraer los poseedores de neumáticos usados como entregar o movilizar estos residuos hacia gestores adecuados en el tratamiento y manipulación de los mismos
- Responsabilizar a entes privados o municipales para la recolección específica de estos residuos.
- Designar depósitos adecuados en el manejo de estos residuos, para su almacenamiento y posterior utilización.

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El siguiente trabajo es producto de investigación bibliográfica, consultas en Internet y fabricación de una muestra para realizar pruebas mecánicas, recogiendo de esta manera información para el desarrollo del tema, objeto de estudio.

El proceso de trabajo se ubicó en tres fases, las cuales fueron las siguientes:

2.1 Fase I

La primera fase incluyó la planificación de la investigación, para lo cual se presentó el protocolo de investigación, donde se definieron los objetivos y procedimientos a seguir para efectuar el estudio.

Previo a la investigación de campo, se establecieron enlaces con empresas que existen en el país que han desarrollado un mercado completo en la fabricación de artículos de hule natural, para que nuestra información sea respaldada con la información actual.

Se realizaron entrevistas con habitantes cerca de botaderos clandestinos y con instituciones dedicadas al control ambiental, quienes nos proporcionaron información sobre algunos otros proyectos de impacto

ambiental, de disposición de desechos sólidos, informando sobre el impacto y las necesidades de su reutilización.

Se visitó el botadero ubicado en el Km. 22 ruta al pacifico para constatar el control y manejo de desechos sólidos producto del hule natural.

2.2 Fase II

Al establecer la viabilidad del proyecto, se procedió a la fabricación de una alfombra con desechos de hule natural. Con esta muestra se realizaron las pruebas y ensayos físicos para evaluar la calidad que se logra a partir de reciclaje de hule natural.

En la fabricación de la muestra, se procedió de la siguiente manera:

2.2.1 Análisis físico

2.2.1.1 Selección de hule reciclado

Para la fabricación de alfombras se seleccionó el hule reciclado de mejor apariencia, que no presentará quemadura, envejecimiento, agrietadura, quebradizo o pegajoso bajo condiciones normales.

Estas condiciones de selección del hule reciclado, es de suma importancia para obtener un producto de mejor calidad y una mezcla homogénea, además para obtener una superficie de acabado uniforme, libre de imperfecciones en su exterior e interior que puedan afectar su apariencia o funcionamiento tales como roturas, fisuras, deformaciones, burbujas, rebabas, ondulaciones, orificios, partes chiclosas, quebradizas o desmoronamientos.

El hule que se recolecto, en formas de trozos, pliegues, láminas, mangueras, tubos. Se trituro con la ayuda de un molino para obtener el hule en forma de viruta, que son trozos pequeños de 4 milímetros los cuales no presentaron un tamaño uniforme pero que a nuestro interés no determinaba que fuesen un factor de suma importancia por lo que se omitió este factor y se trabajo con las medidas obtenidas.

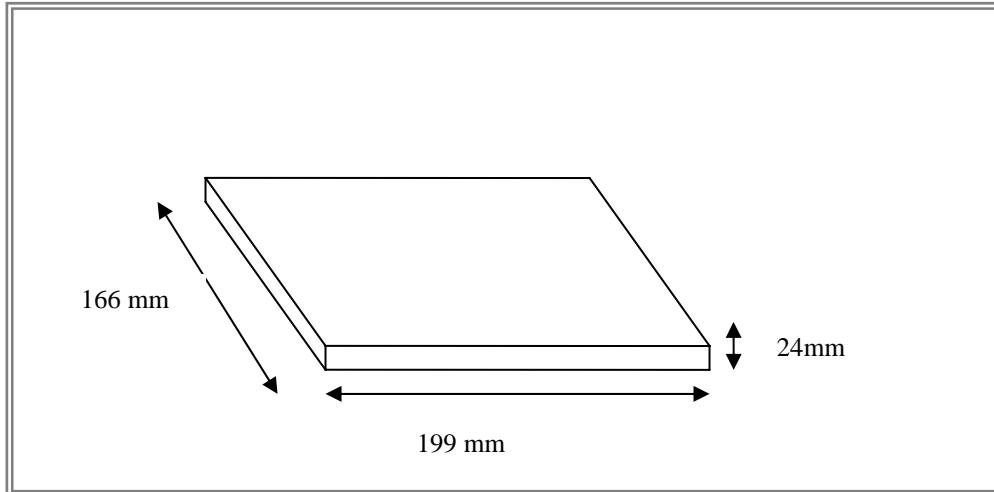
2.2.1.2 Selección del tamaño de la muestra a fabricar

Los aparatos e instrumentos que se utilizaron estuvieron debidamente validados y calibrados.

Tabla III. Medidas de la muestra a fabricar.

Ancho, mm.	166
Longitud, mm.	197
Espesor, mm.	24

Figura 4. Medidas de la alfombra fabricada con desechos de hule



Con las medidas determinadas para la alfombra de hule reciclado se procedió a fabricar un molde de metal con las medidas de la figura 4 ajustando el 0.05% de tolerancia de encogimiento que sufren los hules al ser sometidos a calor, para luego hacer el vaciado de la mezcla de hule reciclado.

Figura 5. Alfombra fabricada con desecho de hule natural.



2.2.1.3 Proceso de fabricación de la muestra

A continuación se detalla la forma en que se fabrica esta alfombra con hule reciclado.

Tabla IV. Formulación final

COMPONENTES	PARTES
Hule reciclado de 4 mm.	100
Resina poliuretano(componente A)	4
Curativo poliuretano (componente B)	1

Tabla V. Equipo a utilizar

EQUIPO	CANTIDAD
Horno.	2
Balanza, Kg	1
Botes de 1Lb	4
Espátula	1

Tabla VI. Condiciones de trabajo óptima.

VARIABLES	VALORES
Presión del molde	1 atm.
Temperatura de molde	70°C
Tiempo de ciclo	15 min.
Temperatura de pos curado	50 °C

2.2.1.4 Determinación de propiedades mecánicas

Se han ideado métodos de ensayo especiales que en muchos aspectos son diferentes de los usados para los metales, la madera y los plásticos duros. La American Society for Testing Materials, mediante su comité D11 y renglón 49T del caucho y materiales similares, publica frecuentemente nuevos y mejores métodos para ensayar caucho y sus productos. Los detalles de muchos de los métodos mencionados pueden ser obtenidos en las publicaciones de la Sociedad. A continuación se presentan los ensayos de mayor carácter fundamental para nuestro análisis, tomados de A.S.T.M. D-49T.

- Resistencia a la compresión o carga; entre las pruebas estáticas esta la de deformación por compresión (A.S.T.M. D395-49T), en la cual la muestra es comprimida entre dos placas planas durante un tiempo prescrito y a una temperatura dada, después de lo cual se retira la fuerza de compresión, se deja que la muestra se recobre durante cierto tiempo, se mide la altura del ejemplar y se registra la altura no recobrada o de deformación permanente.
- Resistencia a la abrasión; puesto que la resistencia a la abrasión es una propiedad relacionada con muchas aplicaciones del caucho, hay varios métodos para medirla, la que se utilizó en ensayo de laboratorio (A.S.T.M. D394-T) se opera con una muestra montada en una barra, las cuales se aprietan contra un disco giratorio de papel abrasivo. Se calcula el trabajo empleado en desgaste por rozamiento.

- Desarrollo de dureza; existen gran número de instrumentos para medir la dureza de los cauchos. El mas usado en la industria es el durómetro de Shore tipo A, que es un instrumento con carga de resorte, provisto de una escala desde 0 (infinitamente blando) hasta 100 (dureza de vidrio).
- Densidad; se mide el peso y se divide sobre el volumen.
- Elongación, se somete a una tracción y se mide el porcentaje que logra ser flexible sin sufrir deformación.
- Permeabilidad al agua; puesto que esta prueba pretende determinar si sufre daño al estar expuesto a lluvias o agua que se derrama sobre la muestra, se hace estar la muestra sumergida en agua durante 30 días y luego se pesa la muestra para evaluar si absorbió agua.
- Determinación de la estabilidad térmica; Para determinar la estabilidad a la oxidación se utiliza una fuente de aire caliente (A.S.T.M. D573-49T) prolongada en varios intervalos de tiempo, por ejemplo 2, 7, 14 y 28 y se anotan las variaciones ocurridas con respecto a las propiedades originales.

2.2.2 Localización

El proyecto fue realizado en las instalaciones de la planta de elastómero de Poliuretano de la empresa ESSA, S.A. Ubicada en 18 av. 41-43 zona 8, Guatemala.

2.3 Fase III

Esta fase consistió en la elaboración del informe presentado en forma anterior, tomando de base los resultados obtenidos.

3. RESULTADOS

Tabla VII. Propiedades mecánicas, de la alfombra fabricada.

ENSAYO FISICO	VALORES
Densidad	0,957 g/cc
Resistencia a la compresión.	10 KPa.
Resistencia a la abrasión.	30 mg/100 ciclos
Elongación	35 %
Dureza desarrollada	80 shore A
Permeabilidad al agua	Impermeable
Determinación de la estabilidad térmica	Estable de 20 – 200 °C.

Shore A; es la escala que se utiliza para medir la dureza de materiales blandos.

Tabla VIII. Resultados de las medidas obtenidas de la muestra.

Ancho.	166 mm.
Longitud.	197 mm.
Espesor.	24 mm.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La dureza de la alfombra de hule reciclado como se observa en la tabla VII, de la sección de resultado, es de 80 shore-A siendo la escala que se utiliza para materiales de elastómero, esta dureza se obtuvo a siete horas del tiempo de curado, esto quiere decir que a las siete horas es el tiempo óptimo en el cual el producto a logrado su mayor desarrollo de propiedades mecánicas. Esta medición se realiza con un durómetro de la escala Shore A, debidamente calibrado, por lo tanto este ensayo sirve como un indicador del tiempo que debe darse como mínimo al curado del producto dentro de un horno a 70 ° C.

En el ensayo de % de elongación, que es una prueba que demuestra si el producto está en óptimas condiciones de plasticidad, se obtuvo como resultado el 35 % de elongación, lo que indica que el producto fue sometido a un proceso completo de mezcla homogénea. Según las normas A.S.T.M. los porcentajes menos de 10% indican reacción incompleta, y el resultado es de un producto cristalizado y sin plasticidad.

El ensayo de abrasión es una prueba para materiales de caucho que son sometidos a fuerzas de fricción. El resultado de esta prueba sobre la alfombra de hule reciclado es de 30 miligramos por 100 ciclos, por lo que determina que el producto no es apto para ser sometidos a fuerzas de fricción.

La prueba de compresión es una prueba de deformación permanente porque la alfombra fabricada es comprimida entre dos placas planas durante 36 horas, después de lo cual se retira la fuerza de compresión que es de 10 KPa

y se deja que la muestra recobre su tamaño durante el mismo tiempo en que fue sometido para nuestra prueba este se hizo a 36 horas de acuerdo a la norma A.S.T.M., se mide la altura del ejemplar y se registra la altura no recobrada que es la deformación permanente. Este ensayo es útil para predecir la eficacia de un producto que ha de estar sometido a compresión, ya que la alfombra de hule reciclado será sometido a este tipo de esfuerzo, el resultado de esta prueba fue que a los 10 KPa. Logró recuperar el 100% de su altura por lo que cumple el propósito principal de una alfombra que esta destinada a ser de soporte de maquinaria pesada, esto sin sufrir deformación en su estructura.

Habiendo obtenido resultados satisfactorios en; desarrollo de dureza, porcentaje de elongación y resistencia a la compresión el cual es una propiedad fundamental para el uso de la alfombra, la evaluación da la calidad que se necesita para que la alfombra sea utilizada en la industria de soporte de maquinaria, de equipo pesado, reducir vibraciones por máquinas estacionarias y así ser una alternativa de reciclar hule natural, aprovechando este desecho que contamina, aumenta drásticamente, y se acumula sin control, en todas partes de la ciudad.

Otros resultados muy importante es que la densidad es menor que la unidad, por lo tanto es mas liviano y de fácil manejo para su instalación, es impermeable al agua y la estabilidad térmica que soporta condiciones drásticas sin cambiar sus propiedades originales son resultados que favorecen para decidir que la alfombra de hule se pueda usar en áreas donde se soporta condiciones a la intemperie, podría dar la idea que las alfombras puedan ser usadas en recubrir el suelo de parques infantiles, pisos en gimnasios, jardines de centro comerciales. Para lugares donde el personal permanece muchas horas de pie, detrás de barras de restaurantes, bares, puestos de producción,

recepciones donde el operador se mantiene de pie, reduciendo la fatiga y el cansancio ya que facilita la circulación sanguínea de las piernas a la vez que proporciona una agradable sensación de comodidad a la pisada.

CONCLUSIONES

1. Los desechos de hule natural presentan dificultad para ser eliminados en el medio ambiente, ya que químicamente la vulcanización los hace desechos no degradables, lo cual ocasiona acumulación. Asimismo, son desechos combustibles que crean riesgos de incendios y al darse la quema de éstos, los gases de combustión son altamente tóxicos.
2. Al país ingresa una gran cantidad de neumáticos usados, lo cual perjudica, porque su rendimiento es relativamente bajo comparado con el impacto ambiental que produce, siendo este un causante de contaminación del ambiente.
3. La calidad de una alfombra que se obtiene de desechos de hule natural es satisfactoria para uso humano, por lo que se puede utilizar este desecho para producirlas.
4. Fabricar alfombras de hule reciclado ayuda a reutilizar la cantidad de desechos de este material, que fácilmente se acumula en cauces de ríos, calles, lotes baldíos; etc. así como reduce la posibilidad de incendios que son tan dañinos, y la proliferación de zancudos transmisores de enfermedades, también incentiva a tomar nuevas ideas de reciclaje de hule.
5. El aprovechamiento industrial de los desechos provocará la eliminación o reducción de estos residuos y, por tanto, la disminución o incluso la eliminación de gastos en los vertederos, además de los posibles beneficios que podría generar su aprovechamiento.

RECOMENDACIONES

1. La práctica de disposición final para los desechos de hule en vertederos, debe ser catalogada como una práctica inadmisibles por los problemas que representa para este tipo de instalaciones. Como quedó anotado, el 63% de la industria dedicada a la manufactura de hule, utiliza el vertedero de la zona 3 de la ciudad de Guatemala como la salida al problema de sus desechos. Con todas las características contaminantes, se recomienda que esta práctica deba ser eliminada y sustituida por otras, por ejemplo; la creación de trituradoras, con lo que se consigue eliminar los volúmenes de estos residuos y los problemas ambientales que acarrea.
2. Se recomienda la creación de regulaciones en las importaciones de productos de hule, que al final terminan en desechos. Esta podría ser una herramienta con que crear un impuesto por contaminación, que se puede usar en la disposición final de los desechos y así fomentar industrias que se dediquen a aprovechar dichos recursos, que al saber utilizarlos son fuente de recursos y no sólo de contaminación.
3. Se recomienda que la gremial de productores de hule incentive o promueva proyectos que incluyan reciclaje de hule natural, siendo estos un recurso para fabricar productos que cumplen la calidad de uso humano.

REFERENCIAS

- 1 Manual de normas ASTM, **Standard Specification for Rubber Surgical** (México 1988), pg. 98-150
- 2 Mack Publishing Pharmacopeia, **National Formulary Pharmacopeia.** 17
th. United States (1990), pg. 5-90
- 3 <http://www.monografias.com/trabajos11/problamb.shtml>
- 4 John, Uribe Aguilar, “**Alternativa técnica, económica ambiental para el aprovechamiento de la sección de rodamiento de llantas usadas sin cerco metálico como material de construcción de tejados**” tesis, Facultad de Ingeniería, Universidad de san Carlos de Guatemala, 2000.
- 5 Beatriz de Maria, Girón Revolorio, “**Lineamiento para la aplicación de un sistema de gestión ambiental en el proceso de manufactura de neumáticos tomando como referencia la norma ISO 1400.**” tesis, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2000.
- 6 Roberto Lizama. Departamento de Ingeniería. Goodyear de Guatemala, S.A. 2005 comunicación personal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Groover, Mikell. **Fundamentos de Manufactura Moderna**. México: Editorial Prentice Hall. 1997
2. Geankoplis, Christie J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. Tercera Edición. México: Editorial Mc Graw Hill, 1991.
3. Kirk, Raymond E. & Donald F. Othmer. **Enciclopedia de tecnología química**. (Unión Tipográfica, tomo 1) México: Editorial Hispanoamericana, 1961. pp. 61 – 81.
4. León, Jorge. **Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales**. Editorial II, México, 1968. pp. 122.
5. Perry, Robert y otros. **Manual del ingeniero químico**. 6ª ed. (volumen 2) México: Editorial McGraw-Hill, 1997. pp. 1.56-13.61.
6. Ulrich, G. **Procesos de Ingeniería Química**. 2ª ed. México: Editorial Mc- Graw Hill, 1991. pp. 180 – 183