

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**“PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN PARA EL RECICLAJE DE
NEUMÁTICOS”**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

PRESENTA:

NIDIA CAROLINA FUENTES LÓPEZ



CENTRO DE INFORMACIÓN

12 DIC 2008

SALTILLO, COAH.

NOVIEMBRE 2007

RECIBIDO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**“PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN PARA EL RECICLAJE DE
NEUMÁTICOS”**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

PRESENTA:

NIDIA CAROLINA FUENTES LÓPEZ

ASESOR:



M.C. MA. LUISA LÓPEZ QUINTANILLA

SALTILLO, COAH.

NOVIEMBRE 2007

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**“PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN PARA EL RECICLAJE DE
NEUMÁTICOS”**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

PRESENTA:

NIDIA CAROLINA FUENTES LÓPEZ

EVALUADORES:



M.C. ISAURO GPE YAÑEZ FLORES



M.C. BLANCA M. HUERTA MTZ.

SALTILLO, COAH.

NOVIEMBRE 2007

CONTENIDO

RESUMEN	
I. INTRODUCCION	3
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Definición de Polímeros	5
2.2 Clasificación de Polímeros	5
2.3 Definición de Hule	8
2.4 Generalidades del Hule	8
2.5 Neumáticos	11
2.5.1 Componentes de los Neumáticos	14
2.5.2 Fabricación de Neumáticos	16
2.6 Problemas de Contaminación del Medio Ambiente	18
2.7 Prácticas de Eliminación de Neumáticos Usados	19
III. Procesos de Reciclado y Disposición Final de las Neumáticos	23
3.1 Incineración	23
3.1.1 Tipos de Procesos de Incineración	25
3.2 Pirólisis	30
3.2.1 Pirólisis a Baja temperatura	31
3.2.2 Pirólisis a Alta Temperatura	31
3.3 Termólisis	32
3.4 Trituración	34
3.4.1 Trituración Criogénica	36
3.5 Regeneración del Hule	36
3.6 Otros Procesos para la Recuperación de Neumáticos	37
3.6.1 Renovación	37
IV. Usos del Hule Reciclado	41
4.1 Asfaltado	41
V. ESTADO DEL ARTE DE LOS NEUMÁTICOS RECICLADOS	45
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
VIII. REFERENCIAS	52

RESUMEN

Desde hace ya cierto tiempo ha existido el grave problema de la contaminación por los neumáticos y cada vez se conjuntan más esfuerzos para lograr mejores soluciones a éste y otros problemas que aquejan nuestra vida diaria a nivel mundial. Cabe hacer mención que este tipo de productos están preparados bajo una reacción química no reversible (curado, vulcanización o entrecruzamiento) de las cadenas del hule con el azufre, y por consiguiente ya no es posible reprocesarlo como se hace con los termoplásticos. Existen diferentes tipos de desechos, en este caso se aborda específicamente la situación de los desechos de los neumáticos; en virtud de las dificultades que existen para su reprocesado se han acumulado millones de toneladas de este tipo de basura. Se han elaborado productos a partir de reciclado de neumáticos, pero es mínimo el porcentaje, comparado con lo que se genera. Todavía no se ha encontrado una buena solución en la que se reutilice una gran cantidad de este desperdicio y que, a futuro, sea factible llevarla a cabo con una generación mínima o nula de emisiones al medio ambiente.

En muchos países existen programas desde hace años que han sido planteados para tratar de darle una mejor solución a esta grave problemática, como lo es la contaminación ambiental; sin embargo todavía falta mucho por hacer, por ejemplo mayores apoyos de los gobiernos para el personal que trabaja en la incineración de neumáticos para la fabricación de ladrillos, donde se generan enormes cantidades de humos espesos que se emiten a la atmósfera y que producen sustancias tóxicas para los seres humanos, animales y plantas y, por ende, contribuyen en gran medida al calentamiento global.

En este trabajo se consideró realizar una búsqueda bibliográfica de toda la información posible sobre los procesos de transformación y disposición final de los neumáticos usados, sin embargo, sólo se encontró información de los países industrializados como Estados Unidos, Alemania, Japón, España, etc., los cuales tienen años realizando los procesos conocidos de incineración, pirólisis y termólisis de millones de toneladas de neumáticos al año para la generación de energía, recuperación de metales y otras sustancias químicas, así como

productos secundarios obtenidos de la incineración, pero esto a cambio de un ambiente concentrado de dioxinas y mas sustancias cancerígenas.

Como resultado de esta búsqueda, se encontró que el proceso más recomendable es la termólisis en sus diferentes tipos, logrando un mejor control de las emisiones ya que se generan éstas en menor cantidad; sin embargo, este proceso es costoso pues involucra el uso de nitrógeno líquido para fracturar los neumáticos y llevarlos a tamaños de partícula muy pequeñas, y que sean factibles de integrar en otro tipo de productos que tengan una mayor demanda.

I INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales revelan y prevén la necesidad del cuidado ambiental, ya que el grado de contaminación ocasiona el calentamiento global de la Tierra que trae como consecuencia alteraciones del ecosistema, se sabe que en todos los países se tienen proyectos para reducir la contaminación del medio ambiente. Uno de los problemas más graves a este respecto que se tiene a nivel mundial, es el cómo reciclar o reutilizar los neumáticos de desecho.

Actualmente se registra un volumen creciente en la generación de neumáticos usados a nivel mundial. En Estados Unidos el consumo de neumáticos es algo superior a un neumático por habitante/año (300 millones de llantas/año), de las cuales aproximadamente el 5% son quemados en plantas termoeléctricas, método más utilizado en ese país (IBAM, 2001). La planta de Modesto, en California, quema 4,5 millones de neumáticos/año y genera 15 MWatts usados en 14 mil residencias. La planta de Sterling, en Connecticut, quema 10 millones de llantas/año y genera 30 Mwatts, con un costo operacional igual al doble del costo de las plantas de carbón y cuya inversión alcanzó los US\$ 100 millones (IBAM, 2001).

La disposición final de los neumáticos usados ha llegado a representar un problema técnico, económico, ambiental y de salud pública. En efecto, los neumáticos son difíciles de compactar en un relleno sanitario, haciendo este proceso costoso y presentando además el inconveniente de que ocupan mucho espacio. Su almacenamiento en grandes cantidades provoca problemas estéticos y riesgo de incendios difíciles de extinguir. Su uso como combustible en hornos que no cuentan con la tecnología de control adecuada, por lo que genera graves problemas de emisiones contaminantes a la atmósfera. Por otro lado, los neumáticos usados almacenados se convierten en un lugar favorable para la reproducción de diferentes vectores que ponen en riesgo la salud de la población.

Los países de la región de América Latina y el Caribe no son ajenos a esta problemática. La implementación de programas de manejo adecuado de neumáticos usados es un aspecto de prioritaria atención, en especial por la necesidad de proteger la salud de la población ante el

riesgo del continuo rebrote de enfermedades como el dengue, la fiebre amarilla o la encefalitis. Como es sabido, los neumáticos usados son uno de los sitios preferidos para que los zancudos depositen sus larvas, convirtiéndose en una importante vía para su proliferación, lo cual da como resultado el rebrote de la epidemia del dengue, tal como se registra en la mayoría de países de la Región.

Los neumáticos presentan una estructura compleja, formada por diversos materiales como hule, acero y tejido de poliamida o poliéster. La separación de estos materiales en sus componentes originales es un proceso difícil, por lo que el reciclaje de los neumáticos se ha orientado mayormente a su aprovechamiento en conjunto, aunque ya existen diferentes empresas en el mundo que ofrecen el servicio de manejo de neumáticos usados procesándolos para convertirlos en materia prima para asfalto, pistas atléticas, tapetes, entre otros. Entre las diferentes formas de manejo de los neumáticos usados se encuentran su apilamiento, entierro, reuso (reencauchamiento) y el reciclaje para uso en ingeniería civil, regeneración del caucho, generación de energía, producción de asfalto o fabricación de nuevos materiales. Entre los diferentes procesos para la reutilización de los neumáticos usados se pueden mencionar la pirolisis, la incineración y la termólisis.

II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definición de Polímero

Un polímero esta formado por muchos miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros, unidas químicamente por enlaces covalentes entre sí para formar macromoléculas. La palabra polímero proviene del vocablo griego Poli = muchos, Meros=parte^[1].

Las largas cadenas provocan que las propiedades de los polímeros sean muy diferentes a las propiedades de las moléculas convencionales más pequeñas. Principalmente son superiores en las propiedades mecánicas debido a que existen interacciones entre las grandes cadenas poliméricas.

2.2 Clasificación de los Polímeros

Existen diferentes y muy variadas formas de clasificar los polímeros, las más comunes son:

❖ Por su Origen:

- a) *Polímeros naturales*: Son los polímeros que se obtienen a través de un proceso biológico, que los utilizan con fines estructurales, funcionales y de reserva energética. A este grupo pertenecen las proteínas, los ácidos nucleicos y los polisacáridos, siendo estos últimos los que presentan un mayor interés en cuanto a sus aplicaciones.

Existen muchos polímeros naturales de gran interés comercial como el algodón, formado por fibras de celulosa. La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplea para hacer telas y papel. La seda es otro polímero natural muy apreciado fabricado por el Gusano (Caterpillar). La lana, proteína del pelo de las ovejas, el hule de los árboles de Hevea y de los arbustos del Guayule son otros ejemplos de polímeros naturales.

b) *Polímeros sintéticos*: aquellos que se obtienen a través de un proceso de síntesis química (reacción química). Como ejemplo de polímeros sintéticos tenemos todos los derivados del petróleo como son el polietileno, polipropileno, policarbonato, etc.

❖ Por su Comportamiento Termo-mecánico:

a) *Termoplásticos*: son polímeros que se reblandecen por la acción del calor y entonces se les puede dar forma mediante moldeo, compresión, extrusión, etc. Son reciclables. Otra característica es su solubilidad.

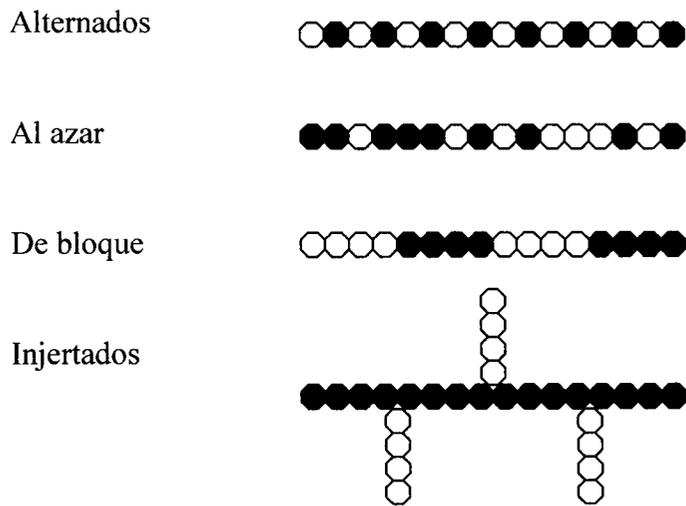
b) *Termofijos*: son aquellos polímeros que se enlazan químicamente entre sí formando una estructura tridimensional permanente, por lo que no se reblandecen al ser calentados, ni tampoco pueden disolverse.

c) *Elastómeros*: es un material que puede ser deformado en gran proporción (muy deformado) y después de eliminar la fuerza que provoca la deformación, éste regresa a su forma original. Se puede decir que un hule es un material muy elástico son materiales con alta flexibilidad y elasticidad a temperatura ambiente

❖ Tipo de Unidad Estructural^[2]:

a) *Homopolímeros*: Están formados por una sola unidad estructural, por ejemplo el polietileno, PVC, polipropileno, etc.

b) *Copolímero*: Contienen dos o más unidades estructurales. Estas combinaciones de monómeros permiten modificar y / o mejorar las propiedades de los polímeros y por lo tanto, lograr nuevas aplicaciones. Así, existen los siguientes tipos de copolímeros:



❖ Por su Estructura:

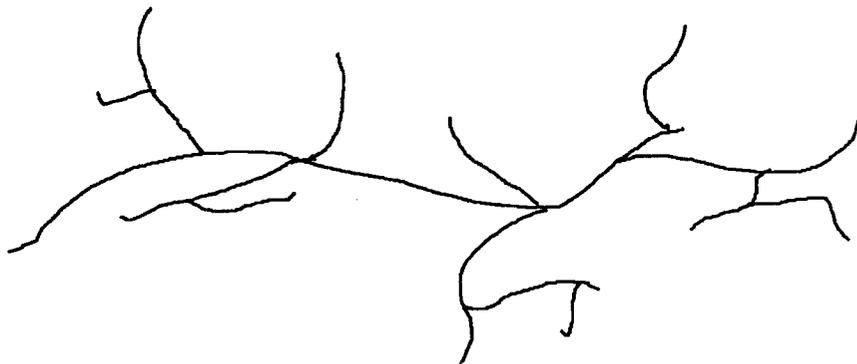
La estructura de las cadenas poliméricas puede ser:

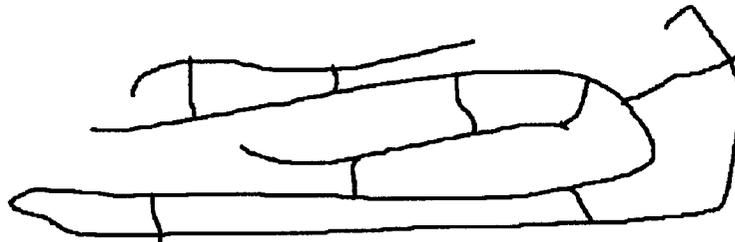
- a) Lineal
- b) Ramificada
- c) Entrecruzada

Lineal



Ramificada



Entrecruzada**2.3 Definición de Hule**

Es un polímero con una estructura en la cual puede haber instauraciones (polibutadieno, poliisopreno), o por estructura química de alta irregularidad como copolímeros al azar (EPDM, SBR) que imparten alta elasticidad. Las instauraciones son utilizadas para generar entrecruzamiento, formando redes tridimensionales al adicionarle azufre y calor o bien por la adición de peróxidos. El hule es una masa altamente viscosa que se caracteriza por su elasticidad, resistencia eléctrica y repelencia al agua, etc.

2.4 Generalidades de los Hules

Existen dos tipos de hule: el hule natural y el hule sintético^[3]. El hule natural^[4] se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que mana del tronco de algunas especies de árboles, la cuál se obtiene por medio de cortaduras provocadas en la corteza; en estado natural, el látex consiste en una suspensión coloidal, acuosa, conteniendo el 30% de hule^[5]. La mayoría del hule natural que se produce es obtenido de un árbol de la especie *Hevea Brasiliensis* (ver figura 1), de la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas.

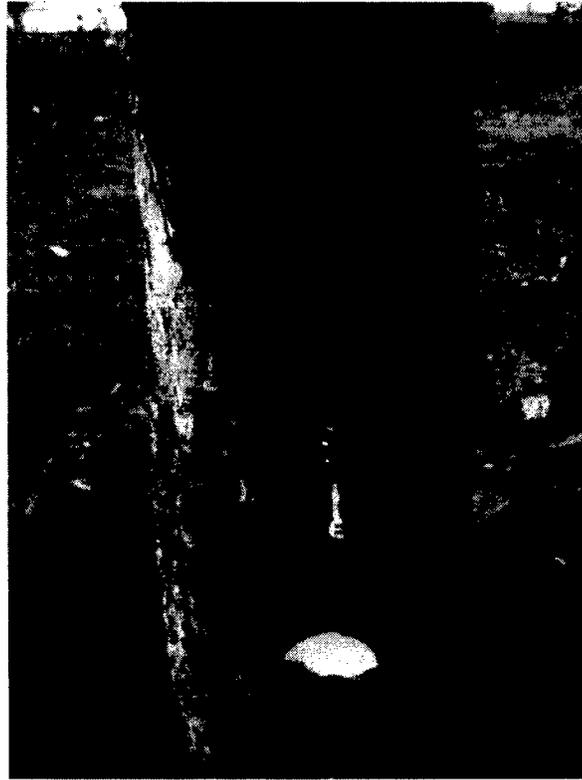
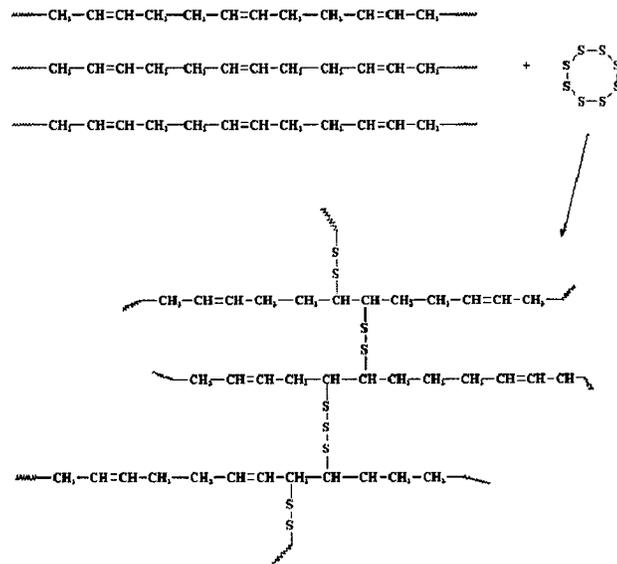


Fig. 1 Árbol de Hevea Brasiliensis

Utilizando azufre se logra el enlazamiento de las cadenas elastoméricas, este proceso es lo que se llama vulcanización y fue desarrollado por Charles Goodyear en 1839. El resultado es un producto elástico más estable y resistente contra químicos. La vulcanización en frío, desarrollada en 1846 por Alexander Parkes, consiste en sumergir el hule en una solución de monoclóruo de azufre (Cl_2S_2).

El término vulcanización o entrecruzamiento se refiere a un proceso químico que se lleva a cabo al mezclar el hule con agentes de vulcanización como el azufre, peróxidos y otras especies químicas en presencia de calor y bajo presión. En la vulcanización los átomos de azufre se combinan químicamente con las moléculas del hule formando puentes o enlaces entre ellos a lo largo de la cadena. La vulcanización es posible debido a que la estructura molecular del hule tiene dobles enlaces situados a lo largo de la cadena, los cuales se rompen para combinarse con el azufre y formar una red tridimensional.



Esquema 1. Vulcanización

Desde 1826 Michael Faraday estableció que el hule natural estaba constituido por cadenas hidrocarbonadas con lo que dejó abierta la posibilidad de producir hule sintético. Durante la I Guerra Mundial los químicos alemanes fabricaron hule sintético a partir de *dimetil-butadieno* en vez de isopreno y para 1925 abarataron el proceso usando butadieno, que a su vez se obtenía del butano y butileno subproductos del petróleo, el que se convirtió en la principal materia prima para la obtención del hule. Posteriormente se descubrieron otras clases de hules sintéticos. A partir de 1945 la producción de hule sintético supera la de hule natural, el cual sin embargo ha permanecido en el mercado, logrando importancia en épocas de precios altos del petróleo. Dentro de los hules sintéticos más utilizados están el Poliisopreno, el Polibutadieno, el Poliisobutileno, los Poliuretanos, el Policloropreno y las Siliconas. Actualmente más de la mitad del hule usado es sintético, pero aún se producen varios millones de toneladas de hule natural anualmente.

Se pueden fabricar artículos de hule por medio de extrusión o por moldeo por inyección similar al proceso de elaboración de polímeros termoplásticos. Se calientan los moldes, y bajo una alta presión y temperatura el azufre agregado (en una forma no reactiva) reacciona con los dobles enlaces de los elastómeros provocando el entrecruzamiento. Los enlaces de azufre son tan duraderos que no hay manera de revertir este proceso y por lo tanto todos los desechos de los productos de hule no son reciclables para moldeo repetido.

Hoy en día se fabrican miles de artículos de hule para usos muy diferentes. El hule es ampliamente utilizado en la fabricación de neumáticos, artículos impermeables y aislantes, por sus excelentes propiedades de elasticidad, resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y la electricidad. El hule no entrecruzado se disuelve con facilidad ante petrolatos, bencenos y algunos hidrocarburos.

2.5 Neumáticos

La palabra neumático (del griego *πνευματικός*, relativo al pulmón, por el aire que lleva), también es denominado “cubierta” en algunas regiones, es una pieza de hule que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas. Su función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía.

El creador del neumático fue el cirujano e inventor escocés John Boyd Dunlop (1840-1921). Veterinario escocés, nacido en Dreghorn (Ayrshire) y muerto en Dublín. En 1867 y después de haber ejercido en Edimburgo la cirugía veterinaria durante ocho años, se trasladó a Belfast. Veinte años más tarde inventó los neumáticos a ruegos de un hijo suyo de 9 años de edad. El muchacho usaba un triciclo para trasladarse a la escuela por las calles empedradas de guijarros de Belfast y se quejaba de sentir el traqueteo, porque las ruedas del vehículo estaban equipadas con bandajes macizos. Dunlop le resolvió el problema inflando un tubo de goma con una bomba de aire y sujetándolo sobre la llanta de las ruedas, después de protegerlo con una envuelta de lona. Patentó su invención, pero más tarde se la vendió a William Harvey, propietario de la Pneumatic Tire and Booth's Cycle Agency. Por el confort que proporcionan, los neumáticos revolucionaron la construcción de bicicletas e hicieron posible el desarrollo del automóvil.



Fig. 2 Neumáticos de Tipo Radial

Los neumáticos generalmente tienen hilos que los refuerzan. Dependiendo de la orientación de estos hilos, se clasifican en sesgados o radiales. Los de tipo radial son el estándar para casi todos los automóviles modernos.

Las dimensiones de los neumáticos^[6] de turismo se suelen representar con tres números, de la siguiente forma:

ancho cubierta / perfil x tamaño del neumático

Dónde:

- Ancho cubierta es el número de milímetros que posee en una forma transversal de pared a pared.
- Perfil es el porcentaje del ancho de cubierta que corresponde al flanco o pared de la cubierta.
- Tamaño del neumático es el diámetro de la circunferencia interior del neumático en pulgadas.

Ejemplo: 245*45*r18

- Ancho cubierta: 245 mm.
- Perfil: $245 \cdot 45 / 100 = 110,25$ mm.
- Diámetro del neumático: 18 pulgadas.

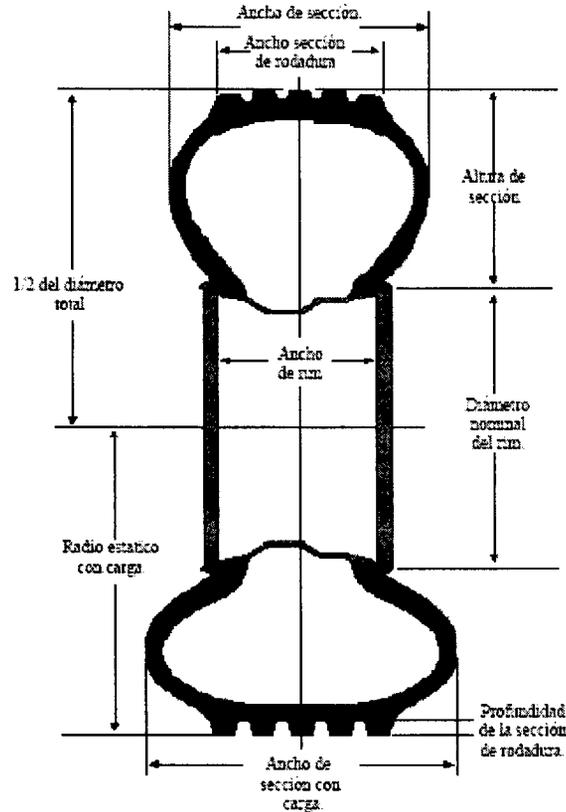


Fig. 3 Esquema Dimensional de un Neumático

Las partes fundamentales de un neumático radial son^[7]:

- 1.- **Banda de rodamiento:** Esta parte, generalmente de hule, proporciona la interfase entre la estructura del neumático y el camino. Su propósito principal es proporcionar tracción y frenado.
- 2.- **Cinturón (Estabilizador):** Las capas del cinturón (estabilizador), especialmente de acero, proporcionan resistencia al neumático, estabiliza la banda de rodadura y protege a éste de picaduras.
- 3.- **Capa radial:** La capa radial, junto con los cinturones, contienen la presión de aire. Dicha capa transmite todas las fuerzas originadas por la carga, el frenado, el cambio de dirección entre la rueda y la banda de rodamiento.
- 4.- **Costado (Pared):** El hule del costado (pared) está especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial.
- 5.- **Sellante:** Una o dos capas de hule especial (en neumáticos sin cámara) preparado para resistir la difusión del aire.

6.- Relleno: Piezas también de hule con características seleccionadas, se usan para llenar el área de la ceja (talón) y la parte inferior del costado (pared) para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja, al área flexible del costado.

7.- Refuerzo de la ceja (talón): Es otra capa colocada sobre el exterior del amarre de la capa radial, en el área de la ceja, que refuerza y estabiliza la zona de transición de la ceja al costado.

8.- Ribete: Elemento usado como referencia para el asentamiento adecuado del área de la ceja sobre el rin.

9.- Talón: Es un cuerpo de alambres de acero de alta resistencia utilizado para formar una unidad de gran robustez. El talón es el ancla de cimentación de la carcasa, que mantiene el diámetro requerido de la llanta en el rin.

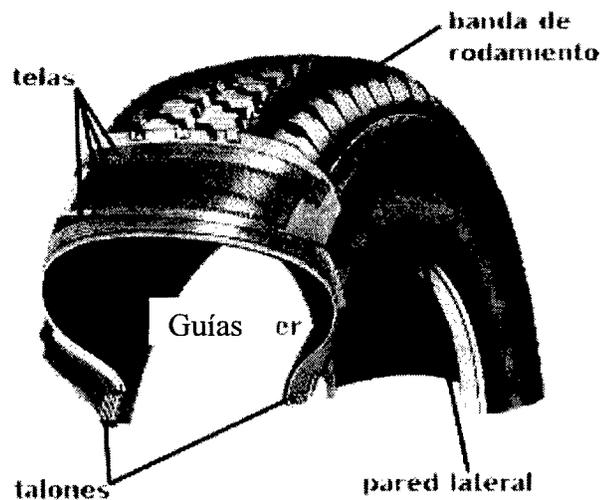


Fig. 4 Sección Transversal de un Neumático Radial

2.5.1 Componentes de los Neumáticos

Estos son algunos de los ingredientes básicos de los neumáticos:

Tejido: acero, nylon, fibra aramid, rayón, fibra de vidrio o poliéster (usualmente una combinación, por ejemplo, tejido de poliéster en los pliegues del cuerpo, y tejido de acero en los cinturones y los talones de la mayoría de los neumáticos radiales para vehículos de pasajeros.

- Hule: natural y sintético (NBR, SBR, NR, etc.)

- Otros: Productos químicos de reforzamiento negro de humo, sílice, resinas
- Antidegradantes ceras de parafina antioxidantes/antiozonantes
- Promotores de adhesión sales de cobalto, bronce en alambre
- Vulcanizadores aceleradores y activadores de vulcanización, azufre
- Auxiliares del proceso aceites, adherentes, peptizadores, suavizantes

Un neumático para vehículos de pasajeros P195/75R14 que puede utilizarse en las cuatro estaciones y tiene el tamaño más popular, pesa alrededor de 22 libras y tiene aproximadamente:

- 6 libras de 5 diferentes tipos de hule sintético (NBR, SBR, EPDM)
- 4½ libras de de hule natural (NR)
- 5 libras de 8 tipos de negro de humo
- 1½ libras de cuerdas de acero para los cinturones
- 1 libra de Poliéster y Nylon
- 1 libra de alambre de acero
- 3 libras de 40 diferentes tipos de productos químicos, ceras, aceites, pigmentos, etc.

Porcentajes normales en la mezcla de hule de varios tipos de llantas:

Tabla 1. Porcentajes de Hules en Diferentes Tipos de Neumáticos

	Hule sintético	Hule natural
Llantas para Vehículos de Pasajeros	55%	45%
Llantas para camiones ligeros	50%	40%
Llantas para vehículos de carrera	65%	35%
Llanta fuera de carretera (gigante/máquina de movimiento de tierra)	20%	80%

2.5.2 Fabricación de Neumáticos

La fabricación de neumáticos radiales requiere diferentes materias primas: pigmentos, productos químicos como diferentes hules (NBR, SBR, NR, etc) tejidos de cuerdas, alambre, etc.

El proceso de producción comienza con la mezcla de tipos básicos de hule, con aceites de proceso, negro de humo, pigmentos, antioxidantes, aceleradores y otros aditivos, cada uno de los cuales contribuye con ciertas propiedades a lo que se ha dado en llamar compuesto.

Estos ingredientes se mezclan, utilizando mezcladores industriales, uno de los más comunes son los del tipo "Banbury". Mezclan juntos los numerosos ingredientes produciendo un material negro gomoso que será triturado más adelante.

El material de hule puede tomar diversas formas. La mayoría de las veces es procesado en trozos cuidadosamente identificados que serán transportados en camiones hasta trituradores situados en áreas de fabricación de neumáticos de una planta manufacturera. Estos trituradores hacen pasar el hule entre enormes pares de rodillos, una y otra vez, mezclando e integrando el material para preparar los diferentes compuestos para los trituradores de suministro, donde es cortado en tiras que pasan a una cinta transportadora para convertirse en bandas laterales, bandas de rodamiento o en otras partes de la llanta.

Aún existe otra capa de hule que cubre el tejido que se usará para conformar el cuerpo del neumático. Los tejidos vienen en rollos enormes, y son tan especializados y críticos como la mezcla del hule. Se utilizan diversos tipos de tejidos: poliéster, rayón o nylon. Actualmente, la mayoría de los neumáticos para vehículos de pasajeros tienen generalmente cuerpos con cuerdas de poliéster.

Otro componente clave es el talón del neumático. Tiene forma de aro y su parte central, formada por alambres de acero de alta elasticidad, se ajustará al rin de la rueda del vehículo. Las hebras son alineadas en una cinta y recubiertas con hule para la adhesión, luego se enrollan en lazos que se envuelven juntos para fijarlos hasta que sean ensamblados con el resto del neumático.

Los neumáticos radiales se fabrican en un tambor redondo o cilindro que forma parte de una máquina de fabricación de neumáticos. Esta máquina da a los neumáticos radiales una forma previa muy cercana a la dimensión final, a fin de asegurarse de que los numerosos componentes estén en el orden adecuado antes de que los neumáticos pasen a un molde para ser curadas o vulcanizadas.

Cuando se fabrica un neumático, el fabricante comienza con una capa doble de hule sintético llamado revestimiento interior. Este revestimiento interior posibilita sellar el aire en el neumático y elimina la necesidad de un tubo interior que antes venía dentro.

Después vienen dos capas de tejido plegado a las que, a veces, se les conoce como cuerdas. Dos tiras llamadas cúspides dotan de rigidez al área encima del talón. Enseguida se añaden un par de tiras de fricción, llamadas así porque resisten la fricción producida por el rin de la rueda cuando se montan en un auto.

Ahora el fabricante de neumáticos añade los cinturones de acero que resisten los pinchazos y sostienen firmemente la banda de rodamiento contra la carretera. La última parte que se une al neumático es la banda de rodamiento. Después que los rodillos automáticos prensan firmemente todas las piezas entre sí, el neumático radial, llamado ahora neumático verde, está lista para inspección y vulcanización.

La prensa de vulcanización es donde el neumático adquiere la forma final y el patrón de la banda de rodamiento. Los moldes calientes, parecidos a planchas gigantes de waffles, dan forma y vulcanizan el neumático. Los moldes tienen grabados los patrones de la banda de rodamiento, las marcas del fabricante y aquellas exigidas por la ley en la banda lateral. Cada prensa vulcaniza dos neumáticos a la vez; se mantienen funcionando las veinticuatro horas del día.

Los neumáticos para vehículos de pasajeros se vulcanizan a más de 300 °C por un período de 12 a 25 minutos, a veces durante un tiempo mucho más largo como en el caso de los neumáticos grandes para máquinas de movimiento de tierra. Al abrirse la prensa, los neumáticos son expulsadas de sus moldes hacia una cinta transportadora que las conduce hasta el acabado final y la inspección.

La inspección es visual e interna. Algunos neumáticos son extraídos de la línea de producción y sometidas a rayos X. Además para control de calidad se seleccionan neumáticos al azar para

cortarlos y estudiar todos los detalles de su construcción que influyen en el desempeño, el rodaje o la seguridad.

Esta es la forma en que se unen todas las partes: la banda de rodamiento y la banda lateral, sostenidas por la carcasa, y fijadas a la rueda por el talón de acero cubierto de caucho. Pero cualquiera que sean los detalles, los principios básicos son fundamentalmente los mismos: acero, tejido, hule, mucho trabajo y cuidado, diseño e ingeniería.

2.6 Problemas de Contaminación al Medio Ambiente

El reciclaje de los neumáticos es uno de los problemas de primer orden para el medio ambiente, ya que este tipo de contaminación ocasiona el calentamiento global de la Tierra lo que trae como consecuencia alteraciones del ecosistema.

Actualmente, la idea crucial es propiciar un desarrollo sustentable mediante equilibrios entre los aspectos económico, ambiental y social. Para lograrlo, diversas empresas, han adoptado políticas especiales para conservar el Medio Ambiente, las cuales operan a través del desarrollo de productos y procesos innovadores que reduzcan su impacto en el entorno sin dejar de satisfacer las necesidades de los consumidores.



Fig. 5 Recolección de Neumáticos usados

2.7 Prácticas de Eliminación de Neumáticos Usados.

Los neumáticos usados generalmente se desechan en alguna de las siguientes formas:

- a) Los generadores mayoristas contratan un servicio de recolección particular, el cual los transporta hasta un almacén temporal, para posteriormente enviarlos a empresas que los utilicen como combustible alterno.
- b) Los generadores pequeños utilizan el servicio público de recolección de residuos para desecharlas; éstos a su vez, las transportan hasta planta de selección y aprovechamiento, a estaciones de transferencia de residuos o al sitio de disposición final correspondiente, lugares donde en ocasiones son separadas y enviadas a un sitio que funciona como almacén y donde serán recuperadas pequeñas cantidades.
- c) Los generadores o transportistas pueden disponerlos indiscriminadamente en tiraderos a cielo abierto o sitios clandestinos, lo que deriva una disposición inapropiada y acumulación no controlada. Anteriormente, era común la disposición en relleno sanitario de las llantas enteras, sin embargo, esta práctica esta siendo rechazada, por dos razones principalmente:
 - Debido a su forma y composición, los neumáticos no pueden ser fácilmente compactados, ni se descomponen. Por lo tanto, los neumáticos usados consumen cantidades considerables de espacio en sitios de disposición. Con la baja capacidad en los rellenos sanitarios para Residuos Sólidos Municipales, ya no es posible aceptar materiales voluminosos.
 - Debido a su forma hueca, los neumáticos pueden atrapar aire y otros gases, lo que los convierte en boyas, que con el tiempo, "flotan" a la superficie, rompiendo la cubierta de las celdas de disposición. Estas aberturas exponen los residuos a roedores, insectos y aves, y permiten el escape de los gases, también abren vías para que la lluvia entre en las celdas, favoreciendo la generación de lixiviados. Por otra parte, para el almacenamiento al aire libre, existen dos problemas asociados:
 - i. El riesgo de incendio de neumáticos puede causar impactos adversos al medio ambiente y a la salud pública, por los compuestos que los conforman. Una vez que se están quemando los neumáticos, es difícil apagar el incendio. La combustión

incontrolada de las llantas a temperaturas relativamente bajas (menos de 1000 °C) tiende a producir cantidades importantes de hidrocarburos no quemados (humo negro espeso) y emisiones nocivas para la atmósfera y la calidad del aire de la ciudad. Se han identificado hasta 38 compuestos emitidos al aire, con un potencial dañino debido principalmente a la exposición a hidrocarburos, metales, gases y vapores inorgánicos. Se ha demostrado que las emisiones al aire, provenientes de la quema de neumáticos a cielo abierto son muy tóxicas, incluso mutagénicas, ya que incluyen contaminantes tales como partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), dióxinas, furanos, cloruro de hidrógeno, benceno, bifenilos policlorados (PCBs); y metales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo y vanadio. Además se pueden generar cantidades significativas de líquidos y sólidos con contenidos químicos dañinos derivados de la fundición de las llantas, que pueden ser potenciales contaminantes del suelo, agua superficial y subterránea.^[8]

- ii. Proliferación de fauna nociva se aplica a aquellas especies animales, que por condiciones ambientales o artificiales (provocadas por el hombre y sus acciones), incrementan su población llegando a convertirse en plaga, vectores potenciales de enfermedades infecto-contagiosas o causantes de daños a las actividades o bienes humanos al no poder ser regulada por mecanismos naturales. Este tipo de fauna prolifera en lugares donde se han alterado ecosistemas y existen pocas o nulas condiciones de salud. La forma de los neumáticos les permite actuar como un depósito debido a que capta o acumula el agua procedente de la lluvia. Además, los neumáticos amontonados absorben la luz solar, creando un ambiente propicio en combinación con agua estancada para la reproducción de mosquitos. No existen depredadores naturales para los mosquitos que viven en las pilas de neumáticos, lo que conduce a aumentos incontrolados de la población. Estos mosquitos a menudo son transmisores de enfermedades mortales para el hombre tales como la fiebre amarilla, la encefalitis y el dengue. Existe una variedad de estos organismos, como son: *Aedes cantator*, *Aedes sollicitans*, *Aedes taeniorhynchus*, *Aedes venax*, *Aedes*

canadensis, Aedes triseriatus, Coquillettidis perturbans, Coliseta melanura, Culex pipens, Culex rerstuans, Anopheles quadrimaculatus, Anopheles punctipennis.

Además las condiciones que pueden prevalecer en lo neumáticos usados, pueden favorecer el resguardo de otros organismos e incluso servir como incubadoras de moscas, cucarachas, ácaros y arañas.

En la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (LGEEPA) se consideran diversos criterios para la prevención y control de la contaminación del suelo, de los cuales se distingue que es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular de manera eficiente su manejo y disposición final. En este sentido, la LGEEPA marca los lineamientos que se deben seguir para evitar y controlar la contaminación de los suelos, a pesar de que no hace referencia hacia las llantas usadas, se entiende que éstas están incluidas en el concepto de residuos sólidos municipales. También se establece que la generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto se expidan. A este respecto, es importante mencionar que actualmente no existen normas referentes al manejo de neumáticos usados.

Se están desarrollando diversas disposiciones complementarias a la LGEEPA en materia de residuos que buscan tener una mayor eficiencia en la prevención y control de la contaminación proveniente del inadecuado manejo de los residuos. De lo anterior se puede distinguir a la iniciativa de Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, publicada en la Gaceta Parlamentaria del Distrito Federal, el 25 de abril del 2002, la cual hace énfasis en la necesidad de elaborar planes de manejo específicos para algunos residuos, principalmente los considerados por esta misma Ley como de manejo especial, en los cuales se encuentran los neumáticos usados. Las entidades federativas y los municipios serán los encargados de elaborar dichos planes de manejo.

Otra disposición importante que se encuentra incluida en esta iniciativa es la de definir las responsabilidades de los productores, importadores, comerciantes, consumidores, así como de los prestadores de servicios de manejo de residuos incluyendo la responsabilidad post consumo. Por su parte las diversas propuestas de iniciativa de Ley sobre residuos sólidos en el Distrito Federal, también consideran a los neumáticos usados como residuos de manejo especial, y por lo tanto sujetas a planes de manejo específico, a la vez que retorna los aspectos de responsabilidad compartida entre los diferentes actores involucrados en la producción, distribución, generación y manejo de neumáticos usados.

La tendencia que existe en las diversas iniciativas de Ley sobre residuos sólidos, ya sea en el ámbito nacional o local, muestra que es inminente la atención a residuos considerados como especiales, entre los cuales se encuentran los neumáticos usados.



Fig. 6 Tiradero de Neumáticos

III. PROCESOS DE RECICLADO Y DISPOSICIÓN FINAL DE NEUMÁTICOS

Dentro de las aplicaciones convencionales existe una gran diversidad de métodos y tecnologías para el manejo de los neumáticos usados, así como de los productos generados y a continuación se describen algunas de ellas.

Entre las tecnologías disponibles para el tratamiento y reciclaje se encuentran los tratamientos térmicos: incineración, pirólisis o termólisis.

3.1 Incineración

La incineración de los neumáticos es un proceso que consiste en la transformación de los materiales combustibles en un producto gaseoso y un residuo sólido relativamente inerte y libre de microorganismos, compuesto por escorias y cenizas, basándose en una combustión controlada, vía oxidación a altas temperaturas.

El producto gaseoso que se genera en este tipo de proceso, está compuesto principalmente por sustancias que se encuentran en la atmósfera como son: bióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O).

Este tipo de tratamiento se ha utilizado en Europa desde el siglo pasado, principalmente para este tipo de desechos y surge como necesidad debido a la falta de espacio para su disposición. En la actualidad, la incineración de desechos se utiliza en varios países del mundo, sin embargo, su adopción ha estado sujeta a las necesidades y condiciones de cada país. El proceso de incineración se ha utilizado principalmente para reducir el volumen de este tipo de desecho, y sobre todo para recuperar un 30% de energía calorífica; en forma de vapor o energía eléctrica, para su comercialización.

El proceso consiste en la combustión de los materiales orgánicos de los neumáticos. La combustión se realiza a temperaturas muy elevadas (mayores a los 1200 °C) lo que obliga a verificar los hornos, constituidos por materiales resistentes de alta calidad y de un costo elevado. Uno de los inconvenientes de la combustión es que se realiza a diferentes

velocidades, así mismo existe la necesidad de instalar un limpiador de emisiones y alimentar los hornos con pedazos de neumáticos de tamaño constante, también hay que hacer una selección de las neumáticos grandes, por lo que este proceso es considerado muy complejo.

La incineración es considerada un método exotérmico, ya que se genera una gran cantidad de calor que sirve como fuente de energía, pero hay una elevada producción de contaminantes. Entre los productos de la incineración se encuentran las emisiones a la atmósfera, las cuales, sin un adecuado control, pueden representar un peligro no sólo al ambiente, sino también a la salud humana. Los principales compuestos generados son:

- Monóxido de carbono
- Óxido de zinc
- Bióxido de carbono
- Óxido de nitrógeno

Además de compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos poli nucleares (PAHs), dióxinas, furanos, cloruro de hidrógeno, benceno, bifenilos policlorados (PCBs); y metales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo y vanadio.



Fig. 7 Incineración de Neumáticos

3.1.1. Tipos de Procesos de Incineración

Incineración en Horno Rotatorio

Los hornos rotatorios, para la fabricación de cemento, son cilíndricos, largos e inclinados, a través de ellos pasan los ingredientes del cemento durante tiempos que van desde una a cuatro horas. Debido a su alta temperatura de operación y al largo tiempo de residencia de los gases de combustión en la zona de quemado, los hornos de cemento tienen capacidad para utilizar de una forma segura una amplia variedad de combustibles derivados del petróleo, incluyendo neumáticos usados, de modo que son un buen combustible auxiliar para los hornos de cemento que queman carbón o aceite, asimismo:

- Su valor calorífico es mayor al del carbón utilizado para fabricar el cemento, (un neumático equivale a 10 kg de carbón)

- Su contenido en acero proporciona hierro adicional al cemento. Su contenido en nitrógeno, azufre y cenizas es menor que el del carbón típico.

Las altas temperaturas operativas en el horno permiten la combustión total de los neumáticos usados y la oxidación total del acero sin que afecte negativamente la operación del horno. Por lo tanto, no es preciso separar el reforzamiento de acero antes de utilizar al neumático usado como combustible. De hecho, como el hierro es uno de los ingredientes básicos del cemento, y la temperatura en los hornos de cemento es lo suficientemente alta como para conseguir la combustión total del acero que se convierte en óxido de hierro, el quemado de los neumáticos usados o del combustible derivado de ellos reduce los costos en materias primas para algunos hornos. La fabricación del cemento es energético-intensiva y requiere unos 160 KWh de energía por tonelada de escoria de cemento producida.

La forma en que los neumáticos usados pueden utilizarse como combustible, depende de la configuración del horno. Los neumáticos usados pueden tener un pretratamiento como la molienda para tener partículas muy pequeñas llamadas "migajas" o piezas de un tamaño entre 2X2 cm hasta 15X15 cm, o pueden ser alimentadas al horno enteras. Este último es el método más utilizado ya que no requiere de un pretratamiento lo que pudiera incrementar los costos, los neumáticos usados enteros se alimentan en el horno mediante un sistema mecánico diseñado para cargarlos y alimentarlos.

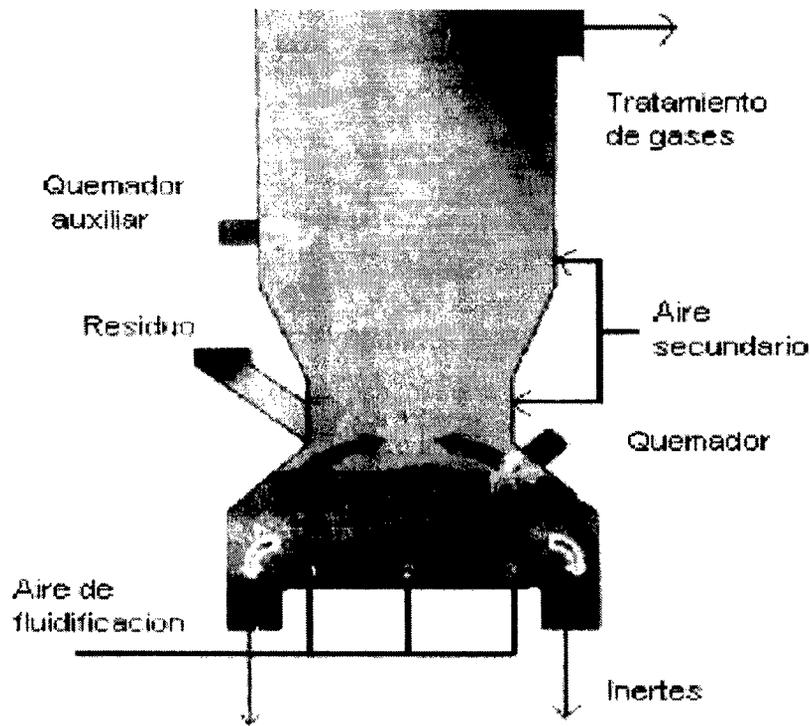


Fig. 8 Esquema de un Horno de Combustión para Neumáticos

Los neumáticos usados proporcionan del 10 al 25 % del valor calorífico total del combustible; el consumo anual en una planta de tipo medio varía entre los 2 y 3 millones de neumáticos usados, éstas han sido utilizadas ampliamente en Europa y Japón como combustible alterno en los hornos de cemento durante varios años, e incipientemente en México durante la última parte de la década de los 90's.

El uso de los neumáticos como combustible en los hornos de cemento reduce la producción de óxidos de nitrógeno y no incrementa significativamente los componentes restantes de las emisiones atmosféricas. Esto se debe a las características favorables de los neumáticos en comparación con los carbones que normalmente se utilizan en la fabricación del cemento. El contenido medio de azufre en los neumáticos usados está entre el 1.23% en peso, frente al 1.59% de carbón; el contenido en nitrógeno también es más bajo que el del carbón 0.2% en peso, frente al 1.76%; el contenido en cenizas es en promedio el 4.7% en peso y el de carbón el 6.23%; el azufre se incorpora a la cal de calcinación en forma de carbonato de calcio, que es

una materia prima en la fabricación de cemento; toda la ceniza se añade al cemento, de esta forma no hay desechos (residuos) procedentes de los neumáticos en los hornos de cemento; por otra parte, no se ha encontrado reportado ningún efecto adverso sobre la calidad del cemento.

Incineradores a niveles múltiples

Las ladrilleras utilizan las llantas usadas como combustible alternativo, la capacidad de éstas varían desde 4,000 a 80,000 tabiques en promedio, con una producción de 30,000 tabiques por horno/hornada. Lo cual indica que la cantidad de llantas usadas a utilizar dependerá de la ladrillera^[9].

En general cada horno es encendido una vez al mes, por lo que al año hay una producción de 174,300,000 tabiques, cantidad que permite construir aproximadamente 130,000 habitaciones de 20 metros cuadrados^[10].



Fig. 9 Ladrillera Usando Neumáticos como Combustible

Los principales combustibles que utilizan las ladrilleras se describen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Combustibles usados en Ladrilleras^[10]

COMBUSTIBLES	CANTIDAD UTILIZADA POR AÑO
Aserrín y madera	27,000 toneladas
Aceites reciclados	2,000,000 litros
Llantas usadas	218 toneladas (24,000 llantas)
Residuos industriales	Se estima entre 8% y 10% del total de combustibles usados.

Sin embargo la mayor problemática que se tiene en este tipo de fábricas son las emisiones al ambiente, ya que generalmente no cuentan con controles en la quema de estos residuos, la cantidad total de contaminantes, emitidos por los 581 hornos tabiqueros en 11 municipios, es de 1,020 toneladas/año. Los principales contaminantes son partículas y PM 10 (sustancias orgánicas o inorgánicas, dispersas en el aire, menores de 10 µm que pueden penetrar hasta las vías respiratorias bajas) con 629 toneladas/año (62%) Y 226 toneladas/año (22%) respectivamente. Las emisiones generadas por la fabricación de tabique rojo, representan el 1.4 % del total de las emisiones contaminantes a la atmósfera producidas (71,059 ton/año).

Los combustibles más utilizados para el calentamiento de los hornos tabiqueros son el aserrín y la madera (27,000 tonelada/año), y aceites reciclados (2,000,000 litros/año). Sin embargo el consumo de neumáticos es considerable, y si aunado a ello se considera que una gran parte de las ladrilleras de la región centro del país se encuentran concentradas en la Zona Metropolitana del Valle de México, podrá plantearse la magnitud de los impactos ambientales en cuanto a contaminación atmosférica se refiere en el valle de México.

3.2 Pirólisis

Los tratamientos alternativos consideran la reconstrucción y la reutilización de los neumáticos o la recuperación de la materia y/o de la energía por medio de procesos térmicos (incineración, termólisis y pirólisis). Entre éstos, la pirólisis parece ser una alternativa prometedora y realista^[11] para lograr la conversión de la basura del neumático en productos valiosos y reutilizables.

El sistema de pirólisis involucra la degradación térmica en ausencia de oxígeno. El beneficio de esta aplicación es la conversión de llantas usadas en productos como oleofinas, cera y el hollín.

Este es un método de reciclamiento, y no sólo reduce el volumen de las llantas, sino que también genera otros compuestos químicos, para combustible.

El proceso general de la pirólisis consiste en someter los neumáticos usados a un proceso de trituración, donde posteriormente se introducen a hornos con temperaturas que van desde los 600 a los 800 °C (en ausencia de oxígeno).

Los productos primarios son los gases pirolíticos (productos de la combustión incompleta) y los aceites, entre otros. Los aceites se trasladan a procesos adicionales para la fabricación de productos secundarios. Utilizando un horno para el aceite y las cenizas libres se convierten en negro de humo de alta calidad, y como una alternativa, se pueden separar los aceites por medio de la destilación. El producto final, que se obtiene con esta tecnología, es el denominado negro de humo. Este producto es esencial para la fabricación de llantas nuevas, por lo que su mercado está asegurado siempre que se garantice la pureza del producto obtenido. Por otra parte, las inversiones y los gastos de explotación necesarios para tratar llantas mediante este método son elevados. Además, es una tecnología con ciertos riesgos ambientales, provocados por posibles problemas de emisiones a la atmósfera.

Esta tecnología, plantea el problema técnico de la separación de la gran cantidad de compuestos carbonados, ya que los productos obtenidos, se producen en cantidades mínimas, de tal forma que su recuperación y transporte hasta los centros de consumo no son económicamente viables, además de la complejidad para la distribución del enorme abanico de compuestos así recuperados.

Existen dos procesos de pirólisis: a baja temperatura y a alta temperatura, los que se describen a continuación:

3.2.1 Pirólisis a Baja Temperatura

Este tipo de pirólisis, estudiada ya en 1973 por una firma alemana, utiliza cera de polietileno a una temperatura de 400° C como medio de reacción para descomponer los residuos de polietileno en aceites de bajo punto de fusión, que contienen una gran cantidad relativa de olefinas, cera y hollín.

Los productos de más interés son las fracciones con un punto de ebullición bajo, y que contienen olefinas (aproximadamente el 95% de la cantidad inicial) y que se pueden utilizar como materia prima en la síntesis orgánica. La cera y el hollín son extraídos de forma discontinua de la caldera.

3.2.2. Pirólisis a Alta Temperatura

Las llantas usadas son introducidas a un reactor de lecho turbulento auxiliar, de arena de cuarzo a una temperatura entre 630° C y 877° C. Como gas de fluidización se utiliza gas de pirólisis recalentado a 427° C en un cambiador de calor. El aporte de calor se consigue mediante tubos de calefacción radiales calentados por propano o gas de pirólisis.

El proceso consiste en triturar el neumático usado en trozos de 10-25 mm, que se almacenan en dos silos de 100 litros cada uno. La carga se hace mediante tornillos sin fin, refrigerados por agua, directamente en el lecho fluidizado con arena de cuarzo. El gas producido sale por la abertura superior. Estos gases producidos de nuevo, así como el de fluidificación, se pasan a través de condensadores y refrigerantes, recogándose diferentes condensados en depósitos adecuados por un lado y los no condensables del gas de pirólisis por otro. Este gas una vez comprimido, se pasa a los depósitos, desde donde se enviará al reactor, como gas de fluidificación y posteriormente a los quemadores.

3.3 Termólisis

Se trata de un proceso en el que se somete a los residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno (atmósfera inerte), tienen el efecto de destruir los enlaces químicos (craqueo), dando lugar a la aparición de cadenas cortas, medias y largas de hidrocarburos, que constituirán la fase gaseosa y sólida. Es la forma de obtener, de nuevo, los compuestos originales del neumático, por lo que es el método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u otras actividades como producción de energía.

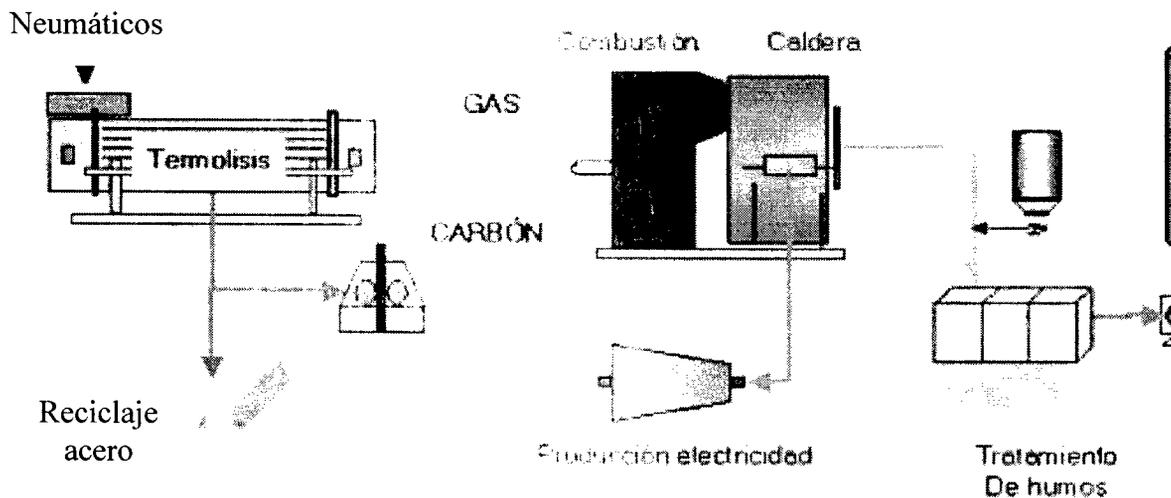


Fig. 10 Termólisis de Neumáticos

El procedimiento que es requerido en este tipo de sistema es la preparación de los neumáticos usados, después someterlas a la termólisis, seguido del aprovechamiento de los materiales obtenidos, y finalmente la producción y/u obtención de la energía eléctrica.

Las ventajas principales son que existe una ausencia de combustión o quema directa en el material base, además se genera un aprovechamiento integral del neumático usado, es decir, hay una separación de materiales a baja temperatura antes de que entre a la caldera,

conservando éstos, sus propiedades originales, con la ventaja que ello conlleva como la recuperación de los hilos de alambre y el reciclaje de este acero.

Existe también un rendimiento energético global, en donde la termólisis permite la transformación de los componentes principales del neumático usado en carbono y gas (combustibles convencionales). También hay una rápida amortización debido al bajo costo de la instalación, la capacidad de cada planta es de 10,000 a 20,000 toneladas anuales, consiguiendo una producción eléctrica de 2.5 a 5 MW, respectivamente.

La descripción de una Planta completa, de eliminación y aprovechamiento de los neumáticos usados mediante termólisis consta fundamentalmente de cuatro etapas^[12]:

- Preparación de neumáticos para su tratamiento
- Termólisis
- Aprovechamiento de los materiales obtenidos
- Producción de energía eléctrica

Mediante el proceso de termólisis se produce una recuperación integral de todos los compuestos originales de los neumáticos, lo que supone un 100% de aprovechamiento de todos sus componentes originales.

Los productos obtenidos de la aplicación de la termólisis a los neumáticos usados son tres:

HIDROCARBUROS: Al ser un combustible de alto poder calorífico, pueden ser introducidos en una caldera de vapor para el aprovechamiento energético mediante turbina.

CARBÓN: Debido a las cualidades que poseen se convierten en combustibles de alto poder calorífico y se podrán introducir, al igual que los anteriores, en la caldera de combustión. Las cenizas obtenidas en la combustión de los carbones, son depuradas mediante un sencillo tratamiento que permite su empleo en la fabricación de hormigones y otros materiales de construcción^[13].

METALES: Al no sufrir alteración química alguna durante el proceso de termólisis, pueden ser destinados a la venta directa tras su extracción del proceso.

3.4 Trituración

Trituración o molienda mecánica

Consiste en romper el neumático mecánicamente, en partículas pequeñas. El acero es retirado por medio de un separador magnético (cribas vibratorias y separadores convencionales, como la centrífuga, etc.)

Los componentes de fibra o textil son separados por clasificadores neumáticos u otro equipo de separación: este sistema tiene un alto desempeño y puede producir hule de costo relativamente bajo; es fácil mantenerlo y exige poca mano de obra para operar y reparar el sistema. En el caso de las partes del equipo, son generalmente fáciles de obtener e instalar.

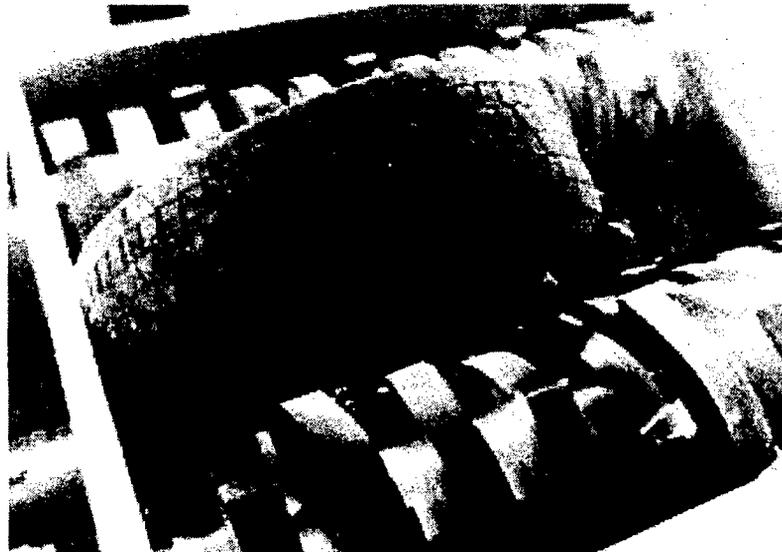


Fig. 11 Triturador de Neumáticos

Las ventajas que ofrece son productos de alta calidad, limpios de todo tipo de impurezas; lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. Este método puede ser también una etapa previa a la mayoría de las demás soluciones para el aprovechamiento rentable y eficaz de estos residuos y sobre todo favorece la ausencia de

compuestos contaminantes en el medio ambiente.

El proceso para la trituración, consiste inicialmente en la clasificación de los desperdicios, después se desmenuza en molinos de trituración y se clasifican por su tamaño mediante una operación de tamizado.

Una de las alternativas para variar la capacidad de la trituradora y como consecuencia, el tamaño del producto resultante consiste en el cambio de la configuración de la cuchilla. Generalmente el material triturado tiene un ancho aproximadamente igual al de la cuchilla. Sin embargo la longitud del producto no puede ser definida de la misma forma, siendo normalmente inferior al de la longitud de la cuerda entre los dientes consecutivos en la misma cuchilla y cuanto mayor sea el número de diente, los productos obtenidos tendrían menor dimensión. No obstante, es necesario tener en cuenta la potencia del corte que limita el número final de elementos. La elección entre menor espesor de la cuchilla y el mayor número de dientes tiende a inclinarse a favor del primero, debido al menor trabajo requerido sobre la superficie de la cuchilla.



Fig. 12 Partículas de Neumático Triturado

3.4.1 Trituración Criogénica

El lugar de origen de la trituración criogénica es en Valladolid, España, en este tipo de sistema se utilizan los neumáticos usados enteros.

El procedimiento es congelar con nitrógeno líquido los neumáticos, y golpearlos para que puedan liberar la estructura metálica o textil del hule, recogándose éste último en forma de polvo y el nitrógeno en forma de gas.

Se aplica una pequeña parte del hule regenerado (dependiendo de la finura del polvo de goma) para la fabricación de cubiertas de menores requerimientos técnicos, como para maquinaria agrícola, carretillas etc., también en el ámbito de la construcción y obras públicas, pistas de atletismo, asfaltado de carreteras y otras vías públicas.

Dentro de este tipo de instalación existen algunas desventajas, como la baja calidad de los productos, así obtenidos, que salen como mezcla de los diferentes materiales que conforman al neumático antes de ser procesado. Requiere de instalaciones complejas, y de alto costo, tiene una gran dificultad de mantenimiento de la maquinaria y de su proceso, se tiene una gran dificultad material y económica para purificar y separar al hule del metal y de los materiales textiles que también están presentes.

3.5 Regeneración del Hule

Este método, originario de España, se realiza con cubiertas de estructura textil es decir se pueden utilizar la parte de hule y textil de los neumáticos, lo único que se debe separar es la parte metálica, en Italia se recupera con gran calidad la goma de cubiertas de los neumáticos.

La regeneración se lleva a cabo en dos etapas ó fases:

- 1.- El neumático se tritura o muele con un cilindro estriado o con otro sistema que realice una reducción de 1 a 2 mm. Se mezcla con aceites minerales, desvulcanizadores, etc.,

posteriormente se introduce a un autoclave para desvulcanizarla, y como producto final se obtiene el hule reciclado, que tiene como características ser un material blando y pegajoso equivalente al hule virgen.

- 2.- En el proceso de regeneración del hule, el reciclado se mezcla con una porción de hule virgen (5 al 10%), azufre y otros productos en calderas de vapor de agua. Aquí es donde se produce la vulcanización, en esta fase de la regeneración el material que se obtiene es en forma de placas que se transforman en alfombrillas para automóvil, suelas, etc.

3.6 Otros Procesos para la Recuperación de Neumáticos

3.6.1 Renovación

La renovación es el proceso por el cual un neumático cuya cubierta está desgastada, es vitalizada mediante la colocación de una nueva banda de rodaje con el diseño igual o diferente al original.

El proceso de renovado comprende, en términos generales, los siguientes pasos: inspección, raspado, cementado, la aplicación del nuevo piso de hule de dimensiones específicas y la vulcanización del mismo; a condiciones controladas de presión, temperatura y tiempo. En una matriz que posee el dibujo del piso de la llanta que es grabado. A continuación se describen con más detalle los pasos del proceso:

La inspección inicial, es un examen físico minucioso de las condiciones en las que se encuentra cada una de las partes de la llanta que se va a renovar, consideradas como críticas y en general de toda ella. Esta fase del proceso es de suma importancia ya que de esta forma se asegura el logro de un casco en perfectas condiciones, evitándose así fallas futuras en servicios.

La inspección externa consiste en: el casco seco y limpio se coloca en el desplegador y bajo una luz adecuada que permita el examen de la cubierta y costados. La cubierta se examina en

cuanto al desgaste excesivo, cuerdas expuestas, materiales extraños, (clavos vidrios, etc.) cortaduras profundas o agrietamiento excesivo.

En el área de los costados se determina la presencia de grietas por la intemperie con profundidad excesiva o agrietamientos radiales.

El área de la ceja se examina para determinar los daños en las cuerdas, deterioro de la ceja misma o ceja expuesta. A juicio del inspector, si los defectos mencionados son excesivos no debe permitirse el renovado.

En la inspección interna, nuevamente se coloca el casco en el desplegador, pero de tal manera, que permita separar las cejas lo suficiente para asegurar la inspección adecuada.

Aquí se determina la existencia y gravedad de lo siguiente: roturas por flexión, en cruz y por impactos; daños en el armazón que requieran una reparación seccional o de refuerzo; en el caso de las llantas sin cámara, forro interno poroso o con unión defectuosa; separación de capas; ceja dañada, en las cuerdas o en los alambres y cuerdas abiertas en el armazón.

El raspado es la eliminación de la superficie desgastada de la cubierta de la llanta a renovar. Los objetivos principales de esta operación son: remover la superficie desgastada y oxidada y el dibujo remanente en el casco; se le da una textura adecuada para una mejor adherencia del piso nuevo y desarrollar en el casco el contorno adecuado para proporcionarle un ajuste exacto en la matriz correspondiente.

La máquina de raspado consiste en una rueda giratoria provista en su superficie de una serie de cardas afiladas. Esta superficie se hace coincidir con la superficie de la cubierta a raspar, habiendo colocado el casco previamente en un rin giratorio y a la presión de inflado especificada, dando así el contorno y la aspereza adecuada a la superficie del casco.

El piso del casco se rebaja cuidadosamente sin desgarrar, ni rajar la superficie, además con la mínima generación de calor y evitando el raspado muy profundo que pudiese exponer las cuerdas y aún cortarlas. Para lograr esto, la rueda de raspado puede moverse en diferentes direcciones para lograr el corte deseado, además de que puede variarse la profundidad en el corte según se desee. Para el contorno se usan normalmente plantillas según el tamaño del

neumático.

El cementado es la aplicación de una sustancia adherente (cemento), sobre la superficie del casco raspado. Su aplicación es fundamental para lograr una adhesión adecuada a la superficie del casco en la adaptación del nuevo piso en banda y así evitar las fallas de separación del renovado en servicio.

La construcción o armado con hule piso de banda, consiste en que el casco cementado se coloca en la rueda giratoria de la máquina de construcción y el rollo de hule piso frente a ella. Se desenrolla una cantidad conveniente quitándole simultáneamente la película protectora y se corta el extremo inicial al ángulo deseado para la unión. El piso se aplica colocando la superficie acojinada sobre el casco y centrándolo perfectamente. Una vez cubierto todo el neumático se traslapa el extremo final sobre el inicial alrededor $\frac{1}{4}$ de pulgada y se corta enseguida ese extremo final a un ángulo tal que las superficies cortadas coincidan estrechamente, ligándose perfectamente y presionando la unión con una carretilla. Para el asentado final del nuevo piso se procede a carretillar del centro hacia las orillas para expulsar el aire atrapado.

Otro caso es la elaboración mediante un extrusor en donde existen dos tipos: el primero consiste en extruir una tira relativamente delgada y angosta que envuelve mecánicamente al casco siguiendo un patrón y que controla electrónicamente el espesor y el contorno del renovado por aplicar. El segundo tipo extruye una banda de material con un ancho y espesor especificado, similar en apariencia al hule piso en banda; el tamaño se obtiene por medio de un dado con la forma adecuada.

Finalmente, el equipo para efectuar la vulcanización del renovado está formado por la matriz, la bolsa de vulcanización y el rin. Este equipo está codificado en forma cruzada de tal manera que a cada medida de la llanta le corresponde una matriz, un rin y una bolsa específica. Todo esto es con el fin de ajustar la llanta a la matriz en forma precisa lográndose así una correcta vulcanización.

Dentro de la vulcanización existe una serie de factores estrechamente ligados entre sí que la determinan: temperatura, presión y tiempo.

Temperatura

El suministro de calor es mediante vapor, por lo que es necesario el uso de calderas generadoras. La rapidez de transferencia de calor entre la fuente de vapor y el hule piso a vulcanizar, variará particularmente entre diferentes fabricantes y tipos de equipos. El equipo puede calentarse eléctricamente manteniendo la temperatura deseada en la matriz mediante el uso de termostatos.

Presión

Para que el hule se vulcanice hasta el estado sólido y se una al casco, se requiere que la totalidad del material y el área del piso, se encuentren completamente confinados y sujetos bajo presión durante todo el ciclo de vulcanización. Esta presión se ejerce por medio de la bolsa de vulcanización, en la parte interior de la llanta y por la matriz, en la externa. La presión se genera por medio de un compresor de aire.

Tiempo

El tiempo requerido en el renovado depende de:

- . Sistema de vulcanización del compuesto renovado, tamaño y espesor del casco.
- . Temperatura de la fuente de calor y temperatura en la superficie de la matriz. . Eficiencia en la transferencia de calor de la matriz.
- . Diseño del piso de la matriz.
- . Espesor del hule piso.
- . Distribución del hule piso en el casco.

Ha sido costumbre en las renovadoras el establecer el tiempo de vulcanización en base de minutos por 1/32 pulgadas de espesor del hule de piso. Este criterio se ha mantenido en muchas renovadoras como regla empírica conveniente. La determinación exacta de dicho

tiempo requiere de un estudio de flujo de calor y su desarrollo en diferentes puntos de la llanta mediante termopares^[16].

IV. USOS DEL HULE RECICLADO

4.1 Asfaltado

El asfalto ahulado, es un material que propicia carreteras duraderas, debido a varias propiedades que adquiere en su fusión con el hule:

- *Elasticidad* que es la resistencia al agrietamiento
- *Flexibilidad*, que permite su adecuación al movimiento de la superficie
- *Impermeabilidad*, da estabilidad a la estructura, al impedir la filtración de humedad en los sentidos descendente y ascendente y además, evita la pérdida de los elementos volátiles
- *Cohesión y adhesividad*, reduce el desmoronamiento que ocurre en el borde de las grietas que se forman con el paso del tiempo en las carpetas asfálticas.
- *Antioxidante y antiozonante*, con lo que retrasa su endurecimiento y desgaste. Confirmando su rendimiento superior al asfalto convencional, respecto a las características de fricción, abrasión y deshielo.

El asfalto modificado con el hule de las llantas usadas está definido como una mezcla de cemento asfáltico, hule reciclado y ciertos aditivos en los que el hule representa por lo menos el 15% del peso total de la mezcla, el cual ha reaccionado lo suficiente con el cemento asfáltico para provocar la fusión e integración de las partículas de los componentes.



Fig. 13 Pavimentación con Hule Asfáltico

Existen dos formas para utilizar las llantas en la producción de asfalto:

a) Hule asfáltico.- Normalmente empleado como material de sellado o como una capa relativamente fina entre dos capas de pavimento.

b) Hormigón asfáltico modificado con hule (RUMAC).- Los trozos de neumáticos sustituyen parte del árido asfáltico en la mezcla de pavimento; este hormigón se aplica de la misma forma que el asfalto convencional. Se llama árido a los materiales granulares (pequeños trozos de roca) utilizados en la construcción (edificación y obras públicas) y en diversas aplicaciones industriales.

El hule asfáltico es un hormigón asfáltico que se consigue calentando el asfalto a una temperatura cercana a los 204°C o añadir hule molido de un tamaño seleccionado y se mezclan los ingredientes durante 45 minutos. Normalmente, el hule molido que se añade está entre el 15% y 25 % del total. Este hule asfáltico debe prepararse unos minutos antes de ser usado, debido a que no puede almacenarse porque se dificulta mantener el hule en suspensión.

Las plantas mezcladoras de hule asfáltico, requieren de un equipo especializado ya que el hule debe premezclarse con el árido asfáltico y se aplica de la misma forma que el hormigón asfáltico estándar.

Para fabricar hule asfáltico, los neumáticos deben triturarse a un tamaño máximo de criba entre 16 y 25 mm. Si el hule viejo no se muele adecuadamente (consistencia firme) y las condiciones de digestión (mezcla y calentamiento) no son suficientemente severas, el cemento de hule asfáltico resultante quedará debilitado y el árido podrá separarse.

El acero y fibras textiles se deben quitar del hule, para que éste se pueda utilizar en el hule asfáltico, cuyos usos son:

- . Capas en fases de pavimentación.
- . Capas intermedias absorbentes de tensiones para pavimentos.
- . Lubricantes para rutas superficiales.
- . Revestimientos para lagos y lagunas.

Añadir el hule triturado al cemento asfáltico incrementando la ductilidad de la superficie, mejora la resistencia frente a las grietas y reduce la fragilidad debido a factores climatológicos, además conduce a la degradación de características físicas, particularmente, la fuerza de compresión del concreto debido a la adición de las partículas de hule así como la mejora en fuerza compresiva con la modificación de las superficies de la partícula. La literatura sugiere que la fuerza compresiva pueda ser mejorada empapando las partículas de hule en la solución alcalina primero para aumentar la interacción interfacial entre las partículas de hule y el cemento. Sin embargo, se ha descubierto^[14] que la pérdida en fuerza compresiva se debe a las imperfecciones locales en la hidratación del cemento, inducida por la adición de partículas de hule heterogéneas e hidrofóbicas.

El RUMAC, es una pavimentación asfáltica en la que parte del árido de la mezcla asfáltica será sustituida por llantas trituradas y molidas. Este método fue inventado en Suecia y esta patentado en EUA bajo el nombre de "Plus Ride" por la empresa Enviro Tire, de Seattle Washington, la cual utiliza todo el hule del neumático incluyendo las paredes laterales, el revestimiento central y el dibujo, reciclando todo menos el acero y la tela. El asfalto modificado "Plus Ride" es una combinación de cemento asfáltico, árido y hule triturado de llantas usadas, se ha utilizado en carreteras, calles y aeropuertos.

De acuerdo con algunas pruebas^[15], las partículas de neumáticos usados, se han identificado como buenos absorbedores de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y se podrían utilizar como material de la capa del drenaje del leachate en terraplenes, de la basura sólida y en otros usos similares.

Los materiales que se obtienen tras el tratamiento de los residuos de neumáticos, una vez separados los restos aprovechables en la industria, el material resultante puede ser usado como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras.

Pueden usarse también en alfombras, aislantes de vehículos o losetas de goma. Se han usado para materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, aislantes de vibración.

Otros usos son los deportivos, en campos de juego, pistas de atletismo o pistas de paseo y bicicleta. Las utilidades son infinitas y crecen cada día, como en cables de freno, compuestos de goma, suelas de zapato, bandas de retención de tráfico, compuestos para navegación o modificaciones del betún.

El Instituto de Acústica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC ha desarrollado un proyecto para la utilización de estos materiales en el aislamiento acústico. El interés en la utilización de un material como el caucho procedente de los neumáticos de desecho para material absorbente acústico se centra en que requiere, en principio, sólo tratamientos mecánicos de mecanizado y molienda. Estos tratamientos conducen a un producto de granulometría y dosificación acorde con las características de absorción acústica de gran efectividad.

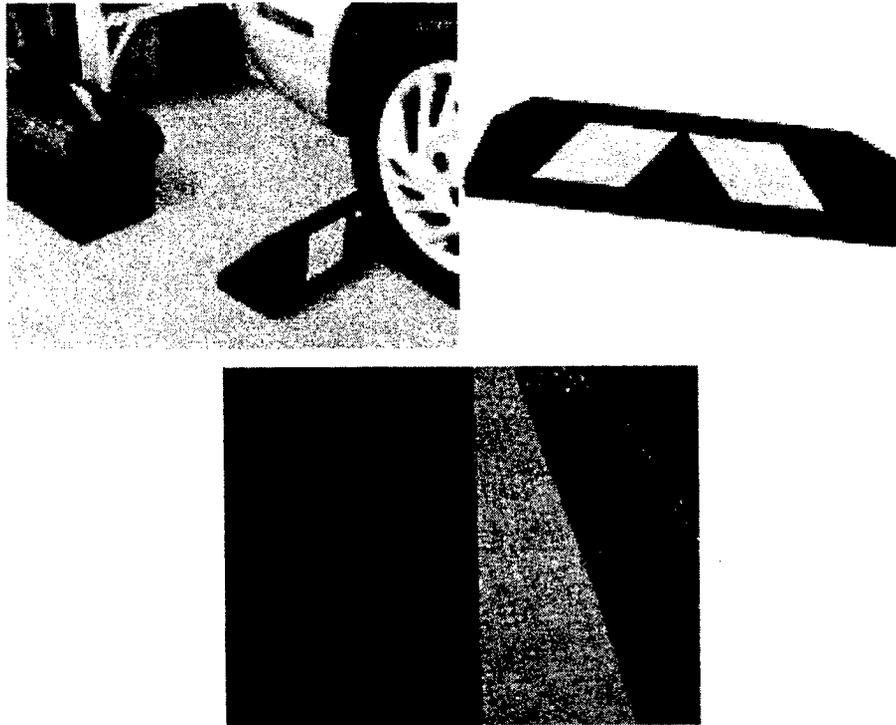


Fig. 14 Diferentes Productos Elaborados a Base de Hule Reciclado de Neumáticos

V. ESTADO DEL ARTE

En muchos países de América Latina y el Caribe los neumáticos usados son utilizados como fuente de energía en fábricas de ladrillo, cemento, entre otras, en hornos que generalmente no cuentan con la tecnología adecuada, razón por la que se generan problemas de contaminación ambiental debido a las emisiones tóxicas producto de una combustión incompleta y de la ausencia de los sistemas de lavado de gases y retención de partículas de material suspendidas. El poder calorífico de fragmentos de neumático equivale al del aceite combustible y es de aproximadamente 40 MJ/kg. El poder calorífico de la madera es de 14 MJ/kg. En los EE.UU., casi un 30% del total de 275 millones de neumáticos desechados se queman en hornos, ya proyectados para optimizar esta quema. La tecnología desarrollada permite la quema de combustible sólido en el centro del horno. Las ventajas de alimentar un horno de cemento con residuos de neumáticos incluyen la posibilidad de usar el neumático entero, inclusive la tela de acero, que le añade hierro al cemento. En fábricas de celulosa y papel también pueden usarse neumáticos como combustible, pero el acero debe ser removido. El empleo de la tecnología

adecuada permite la utilización de los neumáticos como combustible con niveles de emisión comparables a los de hornos convencionales. (CEMPRE)^[17].

Según Lund F., Herbert; Manual McGraw-Hill de reciclaje; 1996; Volumen I Cap. 18; los neumáticos enteros y el *Combustible Derivado de Neumáticos* (CDN) pueden utilizarse como combustibles adicionales en los hornos de cemento, dependiendo del tamaño del horno y de la tecnología. Por lo menos siete hornos están quemando CDN operativamente en Estados Unidos y al menos cinco más están quemando neumáticos enteros o CDN de una forma experimental. La combustión de los neumáticos usados o del CDN en hornos de cemento no afecta negativamente al rendimiento ambiental o a la calidad del producto.

Debido a su alta temperatura de operación y al largo tiempo de residencia de los gases de combustión en la zona de quemado, los hornos de cemento tienen capacidad para utilizar de una forma segura una amplia variedad de combustibles, incluyendo los neumáticos y el CDN, que son un buen combustible auxiliar para los hornos de cemento que queman carbón o aceite, ya que:

- Su valor calorífico es comparable al del carbón utilizado para fabricar cemento, o mayor incluso.
- Su contenido en nitrógeno, azufre y ceniza es menor que el del carbón típico.
- Su contenido en acero proporciona hierro adicional al cemento.

Las altas temperaturas operativas en el horno permiten la combustión total de los neumáticos y la oxidación total del acero sin afectar negativamente a la operación del horno. Por lo tanto, no es preciso separar el reforzamiento de acero antes de utilizar el neumático como combustible. De hecho, como el hierro es uno de los ingredientes básicos del cemento, y la temperatura en los hornos de cemento es lo suficientemente alta como para conseguir la combustión total del acero, que se convierte en óxido de hierro, el quemado de los neumáticos o del CDN con contenido en acero reduce los costos en materias primas para algunos hornos.

Por otra parte, para la producción de hule en polvo existen diferentes empresas que ofrecen el reciclaje de neumáticos usados para ser convertidas en hule en polvo que será destinado a numerosos usos (asfalto, pista atlética, parques infantiles, etc.).

La aplicación denominada “asfalto modificado con goma” ha recibido un gran apoyo por parte del gobierno norteamericano, que pretende incrementar el reciclaje de neumáticos usados incentivando su incorporación al asfalto empleado en la pavimentación de carreteras (Compromiso Empresarial para el Reciclaje CEMPRE, 1998).

El proceso supone la incorporación de hule en pedazos o en polvo. A pesar de su mayor costo, el agregado de neumáticos al pavimento permite hasta duplicar la vida útil de la vía, debido a que el hule le confiere propiedades de elasticidad ante las variaciones de temperatura. También reduce el ruido de los vehículos que transitan por la vía. Por estas ventajas y también para disminuir el almacenamiento de neumáticos usados, el gobierno norteamericano exige que el 5% del material usado para pavimentar las carreteras federales sea de hule molido. En el estado de California se pavimentaron 25 carreteras con 1,7 millones de neumáticos (CEMPRE, 1998).

La empresa Recovery Technologies Group International (RTG), por ejemplo, ofrece el procesamiento de las llantas usadas para ser convertidas en hule en polvo de diferentes diámetros en función del uso al que se le desea destinar (asfalto para carreteras, pistas atléticas, pisos de parques infantiles, entre otros)^[18].

Situación del manejo de neumáticos usados en algunas Regiones del País

Algunas ciudades de México han iniciado programas de investigación, reuso o reciclaje de llantas usadas, tales como Ciudad Juárez y Tijuana, entre otras. Asimismo, se conocen experiencias similares en la frontera entre EE.UU y México. A continuación se describen brevemente dichas experiencias. Por ejemplo en *Ciudad Juárez, Chihuahua* La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez aplicó la investigación desarrollada por el Departamento de Ingeniería Civil, Agricultura y Geológica de la Universidad Estatal de Nuevo México en Las Cruces, Nuevo México, EE.UU., para el reuso de llantas en la estabilización de suelos arcillosos en Ciudad Juárez, Chihuahua^[19].

El objetivo del estudio fue investigar las propiedades elásticas del hule triturado de neumáticos usados para contribuir en parte a la solución de los problemas de disposición final de éstos,

mediante el incremento y desarrollo de nuevos usos de dichos neumáticos, para disminuir los problemas existentes.

De acuerdo a las conclusiones del estudio, la llanta usada puede ser aprovechada de diferentes maneras, muchas veces aún sin llevar un proceso muy elaborado de trituración y separación, en la ciudad existe mucho material disponible para realizar proyectos innumerables, ya sea de construcción o de cualquier otro giro. Los resultados obtenidos para la estabilización de suelos son:

- En el suelo arcilloso (CH) se obtuvieron resultados de la mezcla al 50% de llanta en volumen en función del peso específico del material, encontrando que la expansión disminuyó casi al 50%. Sin embargo el valor principal del material también se reduce, por lo que deberá estudiarse más concienzudamente estas proporciones.
- El manejo en suelos (CH) con el 25 y 10% del agregado de llanta, la reducción de expansión fue mínima.
- En el suelo tipo ML (Limo-arcilloso), se observó que con el 25% de llanta triturada dio una expansión mucho menor que la del material solo. Para este tipo de suelo se utilizó triturado de llanta de 1/8" y se encontró mejoría en los resultados, ya que el material conservó casi la misma humedad que la del ensayo, denotando un mejor desempeño del suelo arcilloso.

Por otro lado la cadena UNIVISIÓN, con fecha 31 de octubre de 2001, publica la siguiente noticia^[20].

Se aprueba programa de reciclaje de llantas en Ciudad Juárez

Ciudad Juárez por fin podrá poner fin al grave problema de millones de llantas usadas que son tiradas en calles y basureros clandestinos. La Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza aprobó el proyecto del reciclado de llantas usadas con un costo superior a los dos millones de dólares.

El proyecto se logró gracias a las aportaciones del gobierno federal, el municipio y otras instituciones de crédito internacionales. La nueva trituradora estará localizada en el confinamiento de llantas, y es igual a las que se usan en los Estados Unidos para disponer de las llantas para prevenir la contaminación.

Tijuana

El Centro de Servicios Comunitarios de la Universidad Tijuana ofrece ayuda física y mental a los residentes de las colonias Xicotécatl, Lázaro Cárdenas y los Laureles, incidiendo en el apoyo y capacitación de la población marginada para identificar los principales problemas de su comunidad^[23].

Uno de los programas que el Centro desarrolla es el cultivo de plantas en llantas usadas. Utilizar llantas usadas para el cultivo tiene dos ventajas: las llantas permiten sembrar en lugares poco usuales y la siembra en llantas evita que los mosquitos depositen en ellas sus huevos.

Otro lugar es el **Condado de El Paso** Cada año en el condado de El Paso se desechan miles de llantas usadas, las cuales están siendo utilizadas para construir carreteras^[21].

El Departamento de Transporte logró un récord mundial al utilizar toneladas de llantas recicladas en el asfalto de carreteras en el condado. El estado de Arizona fue de los primeros en utilizar llantas recicladas. Texas adoptó el proceso en 1976, y desde entonces han logrado utilizar toneladas de llantas. Han pavimentado 700 millas de carreteras. Se utilizan las llantas porque ayudan con la corrosión. El sol usualmente parte el asfalto-le quita sus propiedades. Este es como un protector solar, por lo que dura más, además ayuda en la flexibilidad. El proceso consiste en demoler las llantas recicladas en trozos tan pequeños como migajas de pan. Para después mezclarlas con el asfalto y así cubrir las carreteras. El proceso logra que las carreteras sean más duraderas. El asfalto regular dura unos ocho años y con el asfalto de liga dura unos 12 años. Se paga un precio premium por él, pero dura mucho más, así que el asfalto al final es mucho más barato. La calle North Loop y Socorro Road en el Valle Bajo son el ejemplo de lo que es el proceso de pavimentar con llantas recicladas. Los motoristas dicen que al principio, los autos levantaban muchas piedras pero ahora se nota la diferencia^[22].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a toda la información recopilada se recomienda lo siguiente:

Medio Ambiente

- Uno de los principales problemas es la falta de cultura y la nula responsabilidad por parte del gobierno para implementar programas estrictos en pro del reciclaje de desechos sólidos.
- Respetar todas las normas de como desechar cualquier artículo o sustancia que sea tóxico, de no hacerlo se debería aplicar sanciones muy severas para que se entienda la gravedad del problema.
- Lo ideal sería que no exista la corrupción de personal en los organismos que regulan las leyes aplicadas a lo del medio ambiente.
- Tratar de evitar el consumismo de este tipo de productos y que cada persona pagáramos una cantidad para retirar las llantas de nuestras casas y darle un tratamiento final adecuado.
- Evitar tanta burocracia y comenzar atacar el problema, haciendo cultura con nuestros hijos, y en las fábricas donde laboramos.

Procesos de Reciclado

- Aun y cuando todavía falta mucho por hacer para el reciclado de hules y la aplicación en productos de mayor demanda, cabe hacer mención de que se apoye los programas o proyectos por ejemplo de asfaltado, reutilización en otros productos por ejemplo para techos, pisos y banquetas etc, teniendo en cuenta también la recuperación de energía mediante los procesos de tratamientos térmicos como la pirólisis, la cual, parece ser una alternativa prometedora y objetiva que consigue la conversión del neumático usado en algo valioso y reutilizable^[24] Exigir a las empresas procesadoras de estos

productos que utilicen los procesos ya aplicados en otros países, aunque sean muy costosos y a veces significan pérdidas para ellos.

De acuerdo a la búsqueda bibliográfica realizada en este trabajo se concluye lo siguiente:

- En México se necesita mayor apoyo del gobierno tanto para proyectos de investigación como para la implementación e procesos de recuperación adecuados a nivel nacional.
- Se requiere implementar programas para hacer conciencia de los contaminantes emitidos al medio ambiente así como sanciones firmes.
- El proceso que actualmente es el más costoso y que recupera al 100% todos los componentes de los neumáticos para su reutilización es la Termólisis.

REFERENCIAS

- [1] Ing. José Luis Angulo Sánchez, Caracterización Físicoquímica de Polímeros Edit. Limusa 1994 pp 15-17
- [2] Dr. Ernesto Ureta Barrón, Polímeros (Estructura, propiedades y aplicaciones), Ed. Limusa, 1989, p.p 21-22
- [3] Dr. Luis Ramos de Valle, Dr. Saúl Sánchez Valdes, Vulcanización y Formulación de Hules, CIQA Edit. Limusa 1999
- [4] Fernando Martínez CORTÉS, Carlos Biseca Treviño, José Sanfilippo B., Javier Valdés Gutiérrez, Hilda Flores Olvera, El Hule en México, Industrias NEGROMEX 1986
- [5] M.C. Ma. Luisa López Quintanilla, Concepción González Cantú, Ing. Rodrigo Cedillo García, Tecnología de Elastómeros, CIQA 2006
- [6] Dirección de Transporte CONAE Insurgentes Sur 1582, Segundo piso, Col. Crédito Constructor, 04920, México D.F. Tel: 5-322-1000, Fax: 5-322-10037
- [7] Guía de Análisis de condiciones para llanta radial. The Maintenance Council. U.S.A.
- [8] EPA Emisiones al aire de la combustión de llantas usadas, Office of Research Development, 1997
- [9] www.edomexico.gob.mx. Emisiones atmosféricas por combustión de llantas en ladrilleras.
- [10] www.edomexico.gob.mx/se/ladrillo.htm
- [11] Galvagno S, Casu S, Martino M, Di Palma E, Portofino S, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 88 (2): 507-514, 2007

- [12] Lund, H. "Manual McGraw-Hill de Reciclaje", Vol 1 1998
- [13] Myhre M, MacKillop DA, Rubber Chemistry and Technology 75 (3): 429-474, 2002
- [14] Chou LH, Lu CK, Chang JR, Lee MT, Waste Management & Research, 25 (1): 68-76, 2007
- [15] Edil TB, Park JK, Kim JY, Journal of Environmental Engineering-ASCE 130 (7): 824-831, 2004
- [16] Llantas usadas diagnóstico de la situación actual en el Distrito Federal, Secretaría del medio ambiente.
- [17] Alvaro Cantanhede, Gladys Monge, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Peru Lima, 2002
- [18] <http://www.recoverystechnologies.com/>
- [19] <http://www.uacj.mx/Publicaciones/sf/Vol3num2/Suelo.htm>
- [20] <http://www.univision26.com/noticias/>
- [21] UNIVISIÓN, 15 DE NOVIEMBRE DE 2002, <http://www.univision26.com/noticias/>.
- [22] UNIVISIÓN, 15 DE NOVIEMBRE DE 2002, <http://www.univision26.com/noticias/>.
- [23] http://www.pciborderregion.com/newsletter/1200_SP/1200_4_SP.html.
- [24] Galvagno S., Casu S., Martino M., Di Palma E., Portofino Sabrina, Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry 88 (2) pp. 507-514 Mayo 2007