

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



ESTUDIO DE UN METODO DE REGENERACION
PARA HULE VULCANIZADO POR DISOLUCION
DE AZUFRE

189

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N
YAMIL ADIV MACCISE SADE
MIGUEL ANGEL LARA TAMBURRINO

189



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Quim. Julio Terán Zavaleta
Vocal: Jesús Vazquez Rojas
Secretario: Héctor Sobol Zaslav.
1er. Suplente: Fernando Iturbe Hermann.
2o. Suplente: Margarita González Terán.

ESTA TESIS SE DESARROLLO EN LA
COMPANIA INGENIERIA EN ELASTOMEROS, S.A.,

YAMIL ADIV MACCISE SADE 

SUSTENTANTES:

MIGUEL ANGEL LARA TAMBURRINO 

Asesor:  Quim. Julio Terán Z.

Supervisor Técnico: Ing. Jesús Vazquez R.

INDICE

CAPITULO I.

HISTORIA DEL HULE NATURAL Y DE LOS ELASTOMEROS SINTETICOS.

CAPITULO II.

VULCANIZACION.

CAPITULO III.

REGENERACION.

- A). ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL HULE REGENERADO.
- B). METODOS DE REGENERACION.
- C). POSIBILIDAD TEORICA DE UNA VERDADERA REGENERACION.

CAPITULO IV.

EXPLORACION PRACTICA DE UN METODO DE EXTRACCION DEL AZUFRE COMBINADO POR-DISOLUCION CON DISULFURO DE CARBONO.

- A). DESARROLLO DE EXPERIMENTOS.
- B). RESULTADOS.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

P R O L O G O

Conscientes de la gran importancia que tiene el hule en la industria moderna y del significado económico que podría tener la utilización de los desperdicios y deshechos de este material, tanto en la industria llantera como en general en la industria hulera nacional, hemos escogido este tema para el desarrollo de nuestra tésis, con lo cual - al mismo tiempo que cumplimos con este último trámite universitario consideramos que contribuimos en forma modesta al desarrollo de la tecnología hulera.

Para el desarrollo de nuestro tema tomamos como base uno de los procesos conocidos de regeneración utilizado en la actualidad, al cual haremos algunas modificaciones, - principalmente por la introducción de un solvente que hemos seleccionado, "Disulfuro de Carbono", que aunque es un producto altamente inflamable y explosivo (incluso en ausencia de aire), tomando rigurosas medidas de seguridad-

podremos con él desarrollar un nuevo proceso de regeneración y de costo bajo, con el que se podrán obtener regenerados tanto de hule natural como sintético o de combinaciones que existen actualmente en la industria hulera para la manufactura de diferentes artículos.

Para lograr este propósito desarrollamos una serie de experimentos, usando diferentes equipos, dando diferentes tiempos a cada proceso, hecho pruebas y comparaciones tanto con hule virgen vulcanizado como con vulcanizaciones de regenerados que existen actualmente en el mercado.

Usamos como materia prima hule raspado de llantas y obtuvimos de todo esto algunas pruebas para utilizar lo que en un principio era un desperdicio.

Adiv Maccise Saade

Miguel Angel Lara Tamburrino

CAPITULO I

HISTORIA DEL HULE NATURAL Y DE LOS ELASTOMEROS SINTETICOS.

En este capítulo haremos una breve referencia histórica del descubrimiento del hule, de las primeras aportaciones tecnológicas para su empleo, y de el desarrollo de los hules sintéticos, pasando desde la Condamine y Fresneau, que fueron los primeros en interesarse en el uso de esta substancia conocida por los nativos de América hasta el desarrollo de hules sintéticos de notables propiedades usados en nuestros días para la conquista del espacio.

En las crónicas de los viajes de Colón, encontramos que nombran por vez primera al hule como una curiosidad de América que usaban los indígenas en pelotas de juego, así como impermeabilizante de las telas que utilizaban en sus ropas; pero no se le puso atención a este producto hasta que mucho tiempo después cuando La Condamine, sabio francés enviado a América del Sur para medir un arco del meridiano a la altura del Ecuador quien tuvo a bien enviar una muestra de una masa parduzca parecida a la resina que proce

día de un árbol llamado Heve, de cuya corteza rasgada se extraía un líquido lechoso de color blanco y que en contacto con el aire solidificaba y oscurecía gradualmente.- Dicho árbol crecía a lo largo del Rfo Amazonas, y el material extraído de él era llamado por los indígenas "Caucho".

Tiempo después Fresneau que vivía en la Guayana y que tenía comunicación con La Condamine, mandó a Europa descripciones detalladas del árbol del hule, su localización exacta y forma de obtenerlo, así como los usos probables que tendría este producto. Se supo después que había plantas capaces de producirlo tanto en Asia como en Africa y en toda la tierra, sobre todo en la zona intertropical.

Sin embargo, el hule no tuvo una importancia notable hasta que Thomás Hancock estudió este producto como impermeabilizante de tejidos. Hancock trataba de dar resistencia a los tejidos por medio de soluciones de hule y vio que los trozos de hule recién cortado poseían la propiedad de pegarse al presionarse uno contra otro, por lo que rápidamente pensó formar objetos de forma y dimensiones deseadas con el hule desmenuzado, pudo soldar los recor-

tes por medio de presión; para lo anterior, preparó un cilindro provisto de puntas sobre otro cilindro hueco también con puntas, con la tendencia a llevar a cabo su idea de -- desmenuzar el hule, pero comprobó que en lugar de desmenuzar hule, éste se transformó de bruto, elástico y resistente, en una masa pastosa y plástica a la cual además de podersele dar todas las formas deseadas, se le podría también incorporar sustancias pulverizadas en proporciones notables. A este proceso se le conoce actualmente como "Masticación".

Sin embargo, este proceso no bastó para desarrollar la industria del hule ya que los objetos preparados después de la masticación, y que parecían perfectos, se alteraban muy rápido por la acción de la luz y el calor, tornándose blandos y pegajosos en verano, así como duros y -- frágiles cuando se exponía al frío.

Por lo anterior, la masticación no presentaba por sí misma ventajas de orden técnico, ya que no aportaba mejoras en las cualidades del objeto fabricado, pues el hule -- se volvía inutilizable aún más rápidamente que antes del -- proceso. Debido a lo anterior la masticación no tuvo su -- pleno efecto, hasta que 20 años más tarde se logró el prin

principal descubrimiento para el desarrollo y la utilización del caucho: "La Vulcanización".

Carlos Goodyear efectuaba pruebas para mejorar la cualidades del hule y principalmente enfocaba su atención en encontrar un secante para evitar la pegajosidad del hule en los objetos fabricados. Utilizó como secante azufre elemental, y por un caso fortuito, como tantos en los descubrimientos importantes de la humanidad, se le cayó un trozo de caucho con azufre sobre una parrilla caliente, lo levantó y lo tiró hacia afuera donde había una temperatura de pocos grados, cuando salió de su laboratorio, recogió el trozo de hule y vió el cambio que había ocurrido en él y fue así como descubrió la vulcanización en 1839 con lo que revolucionó la industria.

Es interesante hacer notar que Goodyear no pudo patentar su invento en Europa, debido a Hancock había redescubierto simultáneamente la vulcanización en Inglaterra.

Gracias a estos dos hombres quedó abierto un inmenso campo en las aplicaciones del hule para el futuro. Después de este descubrimiento, se aportaron rápidos progresos sustanciales a los procesos de fabricación de tal forma que las mezclas modernas de hule contienen diversas can

tidades de ingredientes destinados a comunicarle diferentes propiedades, existiendo hules para muchos usos.

ELASTOMEROS SINTETICOS.

Como nuestra materia prima para la recuperación del caucho es a partir de la industria llantera y de la industria hulera en general y como en la actualidad todos los objetos de hule son formas o combinaciones de hule sintético, no es posible hacer un estudio de recuperación de caucho -- sin antes tener una idea del desarrollo histórico y técnico de los hules sintéticos. En consecuencia, en los siguientes párrafos hablaremos de "Elastomeros" como un sinónimo de hule natural y sintético, ya que todo hule tiene una propiedad en común, que es la elasticidad o dicho de otra manera, la capacidad de recuperarse casi totalmente de las deformaciones producidas por la fuerza.

El primer hombre que pudo hacer un trozo de hule en un tubo de ensaye, fue Bouchard en 1879, pero su descubrimiento no tuvo un uso práctico; durante la primera guerra mundial, los alemanes hicieron un hule llamado "metilcaucho", que sólo se utilizó durante las hostilidades pues era de muy mala calidad.

En 1927, se descubrió el Thiokol, un hule sintético -- muy resistente a los aceites, grasas, solvente y en 1931 la compañía Du-Pont comenzó a fabricar el "Dupreno" un hule -- sintético que ahora se conoce como "Neopreno"; este hule -- fue de gran calidad por su resistencia a la gasolina y a algunos aceites y grasas. Poco antes del comienzo de la 2a.- Guerra Mundial, la Bayer descubre 2 nuevos hules sintéticos a los cuales llamó Buna, "Buna-S" y "Buna-N". El segundo -- de estos hules es el ahora conocido como Perbunán, nitrilo- o hule acrilonitrilo. Este hule de nitrilo es uno de los -- que más se utilizan para la fabricación de retenes y sellos pues es resistente a la gasolina y a la mayor variedad de -- aceites y grasas. Al terminar la Segunda Guerra Mundial, y debido a las necesidades de nuevos hules con mejores propie -- dades, se desarrollaron muchos hules espaciales entre -- ellos, los poliacrilatos, el silicón, el hypalón, el vitón- y los de epiclorhidrina.

De 1960 hasta la fecha, y debido a las necesidades -- de los aviones ultrasónicos y a los programas especiales, -- se han necesitado hules que resistan ácidos y substancias -- químicas corrosivas, temperaturas como las del espacio exte -- rior, así como las altas temperaturas generadas por el roza -- miento de los cohetes en la atmósfera y por esto, actualmen --

te hay en desarrollo varios tipos nuevos de hules sintéticos.

Todos los hules tienen una propiedad en común, la de ser elásticos, es decir, que se recuperan casi totalmente de las deformaciones producidas por una fuerza; por esta razón, se le ha dado el nombre de elastómeros, por lo tanto el hule natural es un elastómero, el neopreno también lo es y todos los demás.

TIPOS DE ELASTOMEROS Y SUS PROPIEDADES.

Hule Natural y de Butadieno - Estireno.

Estos elastómeros no son apropiados para la fabricación de retenes, pues tienen la desventaja de que se hinchan con la acción de los aceites y grasas como de la gasolina y otros solventes. Sin embargo, sus excelentes propiedades de resistencia, elongación y fuerza, los hace propios para fabricar llantas, pasacables, guardapolvos y otras muchas partes automotrices, como también para fabricar gomas para frenos y sellos para bombas de agua.

Neopreno o Policloropreno.

Es un hule de moderada resistencia al aceite y a la gasolina, pero se hincha con la acción de algunos aceites

como el bencol, en cambio tiene magnífica resistencia al desgaste, elasticidad y fuerza, además tiene muy buenas características de envejecimiento a la intemperie y resiste trabajos a temperaturas de 40°C, hasta 159°C.

Hule Nitrilo o Acrilonitrilo - Butadieno.

También le llaman buna . Tiene una excelente resistencia a los aceites, gasolina bencol y muchos otros solventes, - sin embargo sus propiedades de envejecimiento a la intemperie no son muy buenas, pero si están siempre en contacto con aceite, tienen buenas propiedades; en cuanto al calor, a temperatura abajo de -20°C. se ponen muy rígidos, y a más de 150°C, - se envejecen rápidamente. Este hule es ideal para sellos que no trabajen a temperaturas demasiado altas.

Los elastómeros vistos anteriormente son los llamados - de uso general, pues sus propiedades son medias, de bajo costo y se usan en volúmenes muy grandes; los elastómeros que veremos ahora son especiales, pues por ser más caros y de propiedades especiales no se utilizan en gran escala.

Silicones.

Son elastómeros de gran resistencia a temperaturas extremas, por corto tiempo resisten temperaturas de 300°C y a -

80 °C, aún se conservan flexibles; también resisten la acción de las grasas, aceites y solventes sin hincharse, desafortunadamente no tienen gran elasticidad ni fuerza, ni resistencia a la abrasión. En cuanto a envejecimiento, resisten la intemperie, ozono, altas temperaturas, ambientes oxidantes sin envejecerse. Son ideales para retenes que trabajan a temperaturas extremas sean altas o bajas.

Poliacrilatos.

Hules económicos y de alta resistencia a los aceites, grasas y solventes, fluidos hidráulicos y silicones, tienen baja elasticidad pero buenas propiedades de desgaste y fuerza, magníficas características de envejecimiento a altas temperaturas pues resisten hasta 200°C y a -50°C, permanecen flexibles son hules ideales para juntas del cárter y para las - de válvulas de automóvil.

CAPITULO II

V U L C A N I Z A C I O N .

La vulcanización es el proceso por el cual se modifican las características indeseables que posee el hule "Caucho" como su alta pegajosidad, blandura, plasticidad y subaja resistencia a la tensión y a la abrasión.

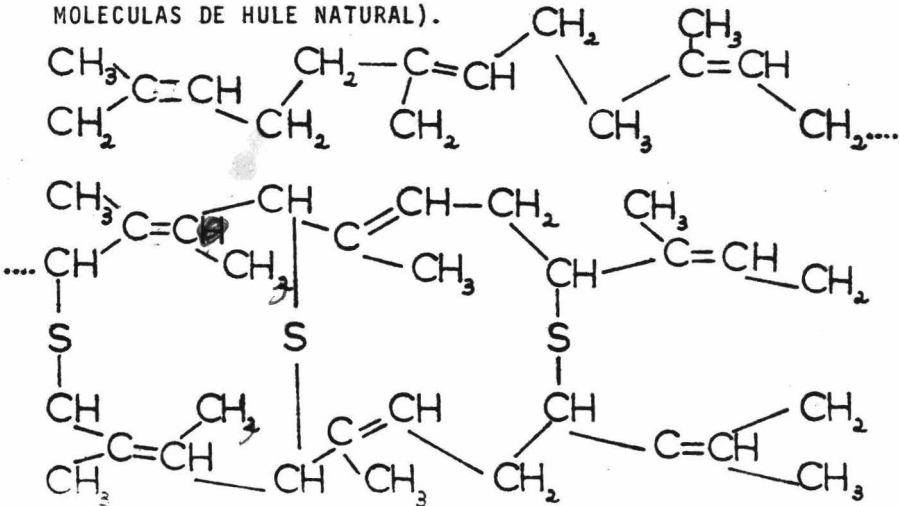
El descubrimiento de la vulcanización, hecho por - - Goodyear, se efectuó calentando una mezcla de hule con azufre elemental, y aún cuando en un principio se pensó que - el azufre era indispensable para el proceso, métodos más - recientes nos indican lo contrario, ya que se puede efectuar con reactivos que no contienen azufre, como ciertos - derivados polinitrados del benceno, algunas poliamidas armáticas, quinonas, reactivos de grignad y peróxidos. Sinembargo, todos los procesos industriales, de vulcanización en la actualidad, se efectúan con azufre, no olvidando que de la cantidad usada de este elemento, mucho dependen las características del producto final, como la dureza, elasticidad, y resistencia a la tensión.

Efecto del Azufre en la Vulcanización.

Es indudable que cuando se calienta una mezcla íntima de hule y azufre para efectuar la vulcanización, se produce una combinación química, pues el azufre presente ya no puede extraerse con disolventes que lo hacen fácilmente antes del proceso, y aún cuando no se conoce la naturaleza exacta de la reacción, una de las suposiciones que nos parece más acertada es la que indica la participación de los dobles enlaces presentes en la molécula del hidrocarburo hule, formando al desdoblarse, puentes de azufre entre dos o más moléculas del hidrocarburo, como se muestra en la figura # 1.

FIGURA NUM. 1.

REACCION EFECTUADA DURANTE EL PROCESO DE VULCANIZACION (2-MOLECULAS DE HULE NATURAL).



HULE VULCANIZADO.

La participación de las dobles ligaduras se comprueba por el hecho de que el hule hidrogenado no es susceptible de vulcanización o determinando el grado de insaturación, del hidrocarburo, antes y después de la reacción, observamos que desaparece un doble enlace por cada átomo de azufre introducido. Sin embargo, la reacción del azufre no se limita a los dobles enlaces únicamente, ya que el vulcanizar hule con una cantidad de azufre, calculada en tal forma que existieran dos átomos por cada doble enlace del hidrocarburo; el resultado será un hule duro no elástico y con una gran fuerza tensil, conocido como Ebonita, pero con un grado de insaturación del 15% en relación con la original.

Por otro lado, las mejoras en las propiedades físicas del hule no pueden explicarse solamente por la pérdida de los dobles enlaces pues se ha observado que las propiedades óptimas de elasticidad se alcanzan cuando se conserva alta la insaturación, dicho en otras palabras, a mayor saturación menor elasticidad.

Influencia de Diversos Factores en la Vulcanización del Hule.

El contenido de azufre combinado, no es la única pro-

piedad que se ve afectada por la temperatura y por el tiempo de calentamiento, sino que también las propiedades mecánicas del hule suave como son su fuerza tensil y elasticidad, que determinan la calidad del producto final, se ven afectadas por las dos variantes mencionadas anteriormente.

Para poder detectar el progreso de la vulcanización- debemos medir los cambios en las propiedades mecánicas del hule, siendo éstas: la fuerza tensil y la elongación. Las gráficas nos enseñan los efectos del tiempo de vulcanización, temperatura y cantidad de azufre que se utiliza en la mezcla.

La curva en la figura A, se obtuvo por una mezcla de 100 partes de hule y 8 partes de azufre, la cual se calentó a 147°C , durante un tiempo de 90 a 240 minutos y vimos que con el incremento en el tiempo de vulcanización, se obtiene un incremento en los módulos pero también la resistencia a la rotura va a un máximo.

En la figura B, la misma mezcla de 100 partes de hule y ocho partes de azufre, se calentó 120, 140, 150 y - - 160°C ., el aumento de temperatura da por resultado una mayor velocidad de vulcanización, la cual se refleja por el incremento en los módulos en este caso también la fuerza -

tensil llega a un máximo.

En la figura C, la curva se obtuvo calentando mezclas que tenían 3, 5, 8, y 10 partes de azufre por 100 partes de hule, con un tiempo de calentamiento de 120 minutos a 147°C. La figura muestra que el incremento en el contenido de azufre da por resultado una vulcanización mayor, como lo indican las propiedades mecánicas mejoradas del hule vulcanizado.

Fenómenos Secundarios.

En general una mezcla de 100 partes de hule y 8 partes de azufre, necesitan aproximadamente 2 horas a una temperatura de 150°C. y aproximadamente 5 horas a una temperatura de 140°C. para dar un producto elástico de alta fuerza tensil; este producto no se puede almacenar por un gran tiempo, ya que su fuerza tensil disminuye y puede desgarrarse inclusive con la mano. Lo anterior se debe al envejecimiento que se produce por los periodos grandes de calentamiento que hacen al hule más sensitivo a los cambios atmosféricos.

Por otra parte, es necesario señalar la tendencia gradual de hacer reaccionar el azufre combinado, con la muestra, después de la vulcanización. Esta reacción secun

FIGURA · A

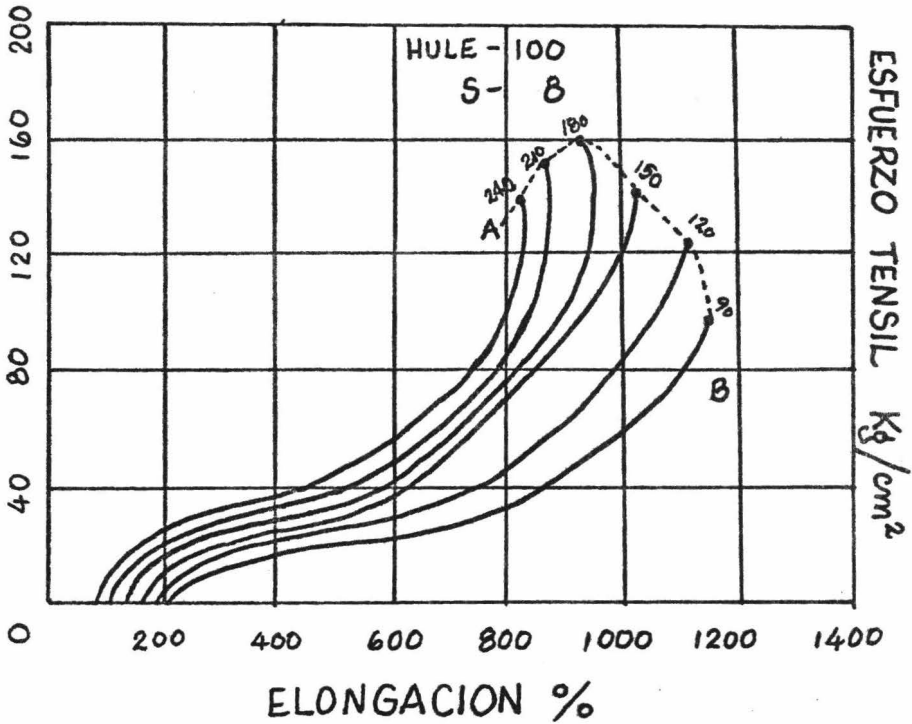


FIGURA · B

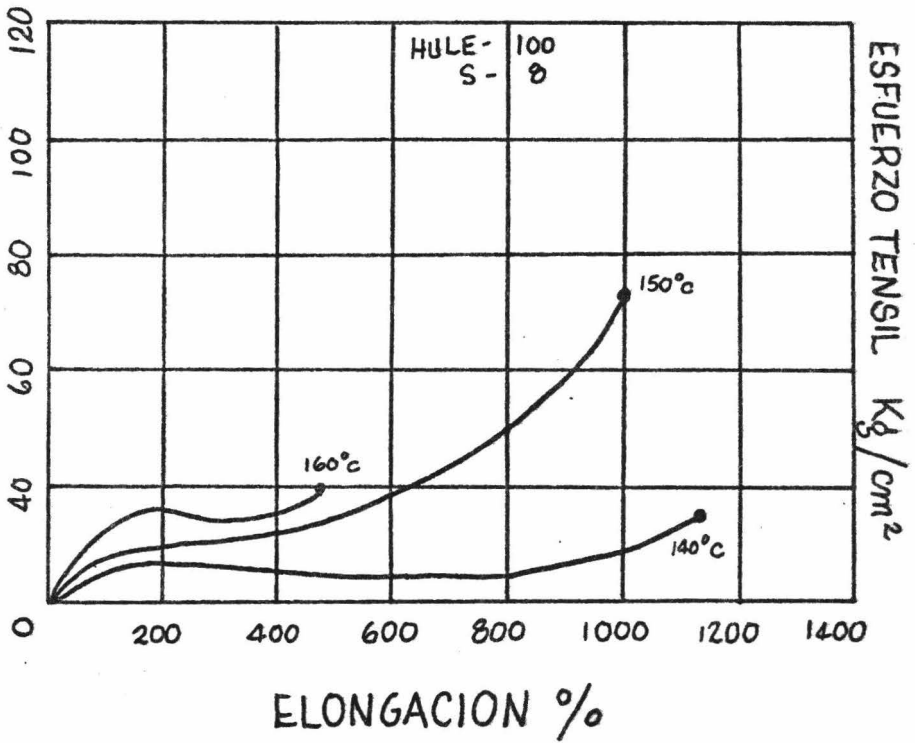
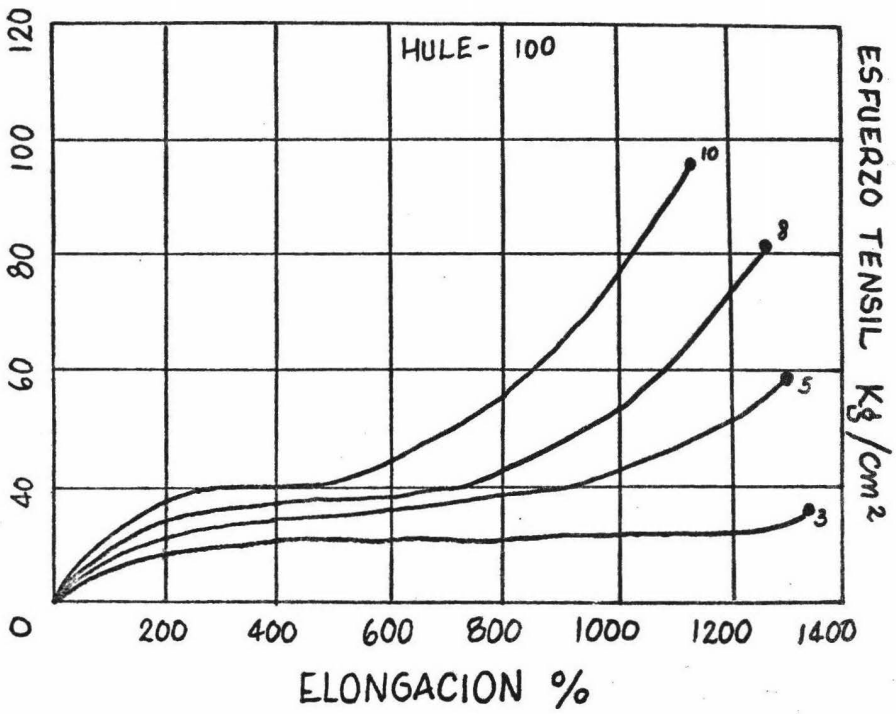


FIGURA · C



daria toma lugar en más o menos tiempo, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y del tipo de compuesto. Esto lo conocemos con el nombre de post-vulcanización que modifica las propiedades del vulcanizado. Finalmente el exceso de azufre puede cristalizar en la superficie de la muestra en forma de un depósito blanquisco que se llama fenómeno de aflorencia.

Sin embargo, esta vulcanización que utiliza únicamente azufre no se considera muy eficiente, afortunadamente, desde el comienzo de la industria huleira, se experimentó -- con ciertas sustancias que acelerarán la reacción del azufre con el hule, los cuales se denominan acelerantes de la vulcanización o simplemente aceleradores.

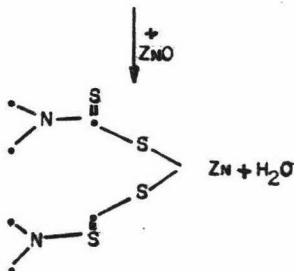
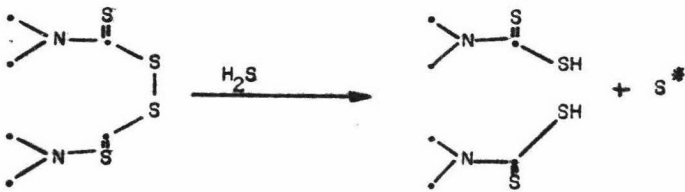
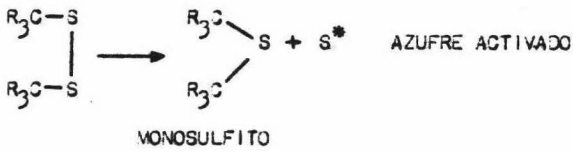
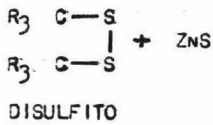
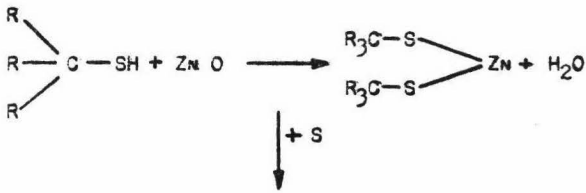
El uso de los aceleradores disminuyen el tiempo de -- vulcanización, e implican la disminución del azufre lo cual está de acuerdo con los resultados de la investigación que recomienda emplear la menor cantidad de azufre posible.

Teorías de la Aceleración de la Vulcanización.

Hay muchas teorías sugeridas, respecto a la influencia de los aceleradores en la vulcanización, pero ninguna de ellas ofrece un carácter general, ya que prácticamente -- podemos considerar una teoría individual para cada tipo de

acelerador; un ejemplo de esto, es la hipótesis de Burni y Romani o de Debford y Scott, que citaremos únicamente para poder ilustrar este punto.

HIPOTESIS DEL EFECTO DE LOS ACELERADORES EN LA
VULCANIZACION



CAPITULO III

REGENERACION

A).- ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL HULE REGENERADO.

El regenerado se puede definir como un tipo de hule que se prepara a partir de desperdicios de artículos de hule vulcanizado. El proceso de regeneración consiste en impartir el grado necesario de plasticidad al hule vulcanizado y con esto permitir que éste se mezcle con hule natural o sintético no vulcanizado.

Hall describe el desarrollo del regenerado, y hace notar que la utilización del desperdicio es casi tan antigua como la de la manufactura del hule. En 1959 Hall plastificó hule vulcanizado por medio de calentamiento en vapor vivo a temperaturas substancialmente más altas que aquéllas que se utilizan para efectuar la vulcanización. Esta patente cita un período de calentamiento de aproximadamente 48 horas y la presión del vapor era probablemente del orden de 4.1 Kg/cm², a una temperatura de 152°C. la cual es más alta que la que utilizó Charles Goodyear en su patente que se refiere a tempera-

turas hasta 132°C.

Esta degradación de la estructura de la vulcanización que se induce por calor, junto con subsecuentes trabajos me
cánicos es todavía común a la mayoría de los procesos moder
nos.

Pasos Básicos en la Regeneración.

Generalmente al hablar de la aplicación de una adecua
da energía térmica normalmente auxiliada por adiciones de -
agentes regeneradores para destruir las fibras y ayudar a -
la plastificación, se puede observar como la inducción de -
una medida suficiente que se ha descrito como "plasticidad-
latente", para permitir la regeneración y esto se completa-
por medio de trabajos mecánicos.)

El siguiente diagrama se puede considerar como la des
cripción de los pasos y agentes que actualmente se usan en-
la regeneración de desperdicios de hule natural.

-PASOS BASICOS EN LA REGENERACION.

Abastecimientos



Desperdicio de llantas.

Molino para triturar



Llantas de desperdicio con el grado necesario de desintegración para el proceso.

- Energía Térmica
- Agentes destructores de tejido en solución acuosa.
- Agentes para hinchar.
- Lubricantes, etc.
- Agua para lavar.
- Aire caliente para secar.



Tejido separado.
El hule vulcanizado tiene plasticidad latente. El azufre libre es separado o combinado. El producto fácilmente se incorpora al paso. a través de los rodillos del molino.

Intenso trabajo mecánico
(Molienda, colado, refinado)



Hule regenerado. Residuo de materia extraña como partículas de metal removidas. El hule queda plastificado al grado necesario. Los componentes desplastificados se eliminan como los desechos. El regenerado pierde un poco de plasticidad. Esta propiedad se restaura por medio de una molienda de corto tiempo.

ALMACENAJE



Energía Térmica.

El uso de temperaturas más altas es predominante y -- las múltiples adiciones hechas a este grado se diseñaron pa-
ra acelerar y amplificar los cambios inducidos y para modi-
ficar el producto final.

Esto resulta en la necesaria reducción en la resisten-
cia a la deformación del deperdicio original sin la cual -
no hubiera sido posible la regeneración por medio de un mo-
lido intenso. Si se acepta la opinión de que el hule vulca-
nizado es de una estructura de cadena tridimensional, pode-
mos decir que la plastificación se puede acabar solo al rom-
per este complejo. Esto se puede efectuar por insición de-
las ligaduras de carbón a carbón en la cadena de hidrocarbu-
ro original, que va a resultar una reducción en el tamaño -
molecular. El hecho de que el azufre combinado esté toda--
vía presente después de la regeneración es una indicación -
de que ésta se lleva a cabo.

La química del proceso de despolimerización no ha si-
do totalmente descubierta, pero nosotros podemos asumir con
certeza que la degradación térmica que sucede en la regene-
ración resulta en moléculas fragmentadas, las cuales no sur-
gen de una reversión del proceso de vulcanización.

Houwink estimó que una buena llanta regenerada desde un punto de vista tecnológico es equivalente a un nuevo hule con un peso molecular de aproximadamente 150,000.

Mientras que la ciencia sugiere en nuestros días que la regeneración del hule natural nos lleva a una considerable modificación en los ligamentos cruzados, esto no es suficiente para inducir una adecuada plastificación y el regenerado siempre retiene algo de elasticidad y otras características asociadas con la vulcanización, la desintegración molecular consecuente en insisiones de cadenas extensivas se ve que es el resultado predominante del tratamiento térmico y de lo que le suceda a las ligaduras, junto con tales cambios como puede resultar de la reagregación de fragmentos, se entiende sin perfecciones.

Se ha señalado que el efecto de deterioramiento del calor cuando se usa en la regeneración práctica es suficiente para remover una de las variables más importantes en el desperdicio inicial, como por ejemplo: La resistencia a la tensión y un ejemplo que se cita es que una llanta de automóvil de una resistencia a la tensión original de 240 Kg/cm². se redujo a 70 Kg/cm² en 4 horas al someterse con vapor a 350°C.

Almacenaje del Regenerado.

El regenerado pierde algo de su elasticidad en el -
almacenaje, en especial si se guarda en condiciones ca-
lientes, como resultado de un almacenaje a 2 años, un re-
generado de llantas se encontró que bajo de 27.23% a - -
19.86% en extracto de cloroformo y que incrementó de - -
402 a 596 en plasticidad Williams.

Una molienda abierta de 15 min. restauró el extracto
de cloroformo a 28.07% y la plasticidad dio un valor cer-
cano al original, se ha sugerido que el endurecimiento del
almacenaje puede ser una forma de polimerización.

Existen pérdidas significativas por la insaturación-
del regenerado en el almacenaje largo. No se conocen solu-
ciones para prevenir el endurecimiento durante el almacena-
je, aunque el tratamiento digestivo con plastificante ade-
cuado produce el tipo de regenerado menos susceptible a es-
te cambio.

B).- METODOS DE REGENERACION.

Existen actualmente varios métodos de regeneración del caucho, pero todos están basados en conocidos procedimientos industriales para este fin. Estos procedimientos datan del tiempo de Goodyear e inmediatamente después del descubrimiento de la vulcanización, que fue cuando se pensó en reutilizar desperdicios de hule vulcanizado. Existen varios tipos de procedimientos industriales para regenerar hules, tales como:

A la sosa caústica

Al ácido

Neutro

Al vapor sobrecalentado

De alta presión de vapor

Por disolución

Catalítico

De oxígeno

Mecánico

Basados en estos procedimientos, los principales métodos de regeneración a partir de desperdicios de hule, -- los nombraremos y estudiaremos a continuación.

Proceso de Digestión.

La mayoría de hule regenerado se produce por el proceso de digestión. Este es un proceso húmedo usando polvo de desperdicio en el cual, la fibra es químicamente descompuesta y después lavada.

El desperdicio se pesa (Aprox. 500 libras de carga) y se remoja en agua con los agentes desfibradores y regeneradores, esta masa se bombea al Digestor, que es un autoclave o tacle con chaqueta, el tiempo de digestión será de 8 a 12 horas durante las cuales el hule se desvulcanizará y la fibra será hidrolizada (el rango de temperatura del proceso de digestión es de 370° a 450°F. y el tiempo es de 5 a 25 horas). Los agentes de regeneración son materias resinosas, petróleo, resinas y aceites con base alquitrán de pino, como también hay varios ablandadores químicos; los agentes --desfibradores son principalmente la sosa caústica y el cloruro de zinc, también cloruro de calcio.

Después de la digestión, la presión del vapor se reduce y la carga entera se mete en un tanque lavador, donde se añade agua y por movimientos continuos el agua se empuja a lavar el hule hasta que quede libre de líquido de diges--

ción y la fibra descompuesta. Este lavado reduce la sosa cáustica y el cloruro metálico a un nivel bajo y uniforme, así que el regenerado final sea ligeramente alcalino o neutro.

El hule vulcanizado lavado se lleva primeramente a -- una prensa exprimidora, donde la mayoría del agua es extraída y después a un secador de aire de 3 pasos, donde la humedad es reducida a una proporción controlada. Mientras tanto el líquido digestor diluido se bombea a un tanque de sedimentación donde el producto secundario con un contenido bajo de hule se recupera para utilizarse como un relleno en los regeneradores a precio bajo.

El paso final de la regeneración es la molienda, la cual envuelve el mezclado y revolturas de hule en banbury con pequeñas cantidades de agentes reforzantes y de proceso. Son primordialmente arcillas, negro de hule y ablandadores los cuales ayudan en la tersura del compuesto seco y en obtener uniformidad con velocidades de alta producción. Estos ingredientes añadidos también sirven para controlar la densidad del producto final.

El siguiente paso en la molienda es la refinación preliminar un molino para la refinación es similar en construc

ción a un molino mezclador, pero operado con los rodillos muy cerrados para obtener una alta presión. Los rodillos son más cortos y tienen un radio de velocidad de superficie muy alto; ellos sirven para masticar y alisar las partículas del hule seco y dar una buena dispersión de los ingredientes. La lámina en este estado preliminar es aproximadamente de .010' de grueso y se separan del rodillo rápido por medio de una navaja raspadora.

Después de que se le da a la masa este refinamiento preliminar se cuele para remover cualquier metal no-magnético y otras materias extrañas, se cuele en una tubulación equipada con un cernidor a su salida, que se sostiene por un plato de acero que contiene una gran cantidad de agujeros a través del cual el hule saldrá como cilindros, los cuales se cortan por medio de navajas rotatorias.

La última operación el refinamiento final, es justamente igual que el refinamiento preliminar, excepto que los rodillos tendrán una abertura mucho menor de .003 a .005. Cualquier partícula dura permanecerá en los rodillos y se eliminará periódicamente designándolo como barrederas. Estas barrederas se usan para formular compuestos moldeados a bajo precio, donde la tersura no es esencial de tal manera que únicamente el hule perfectamente refinado es susceptible de pasar-

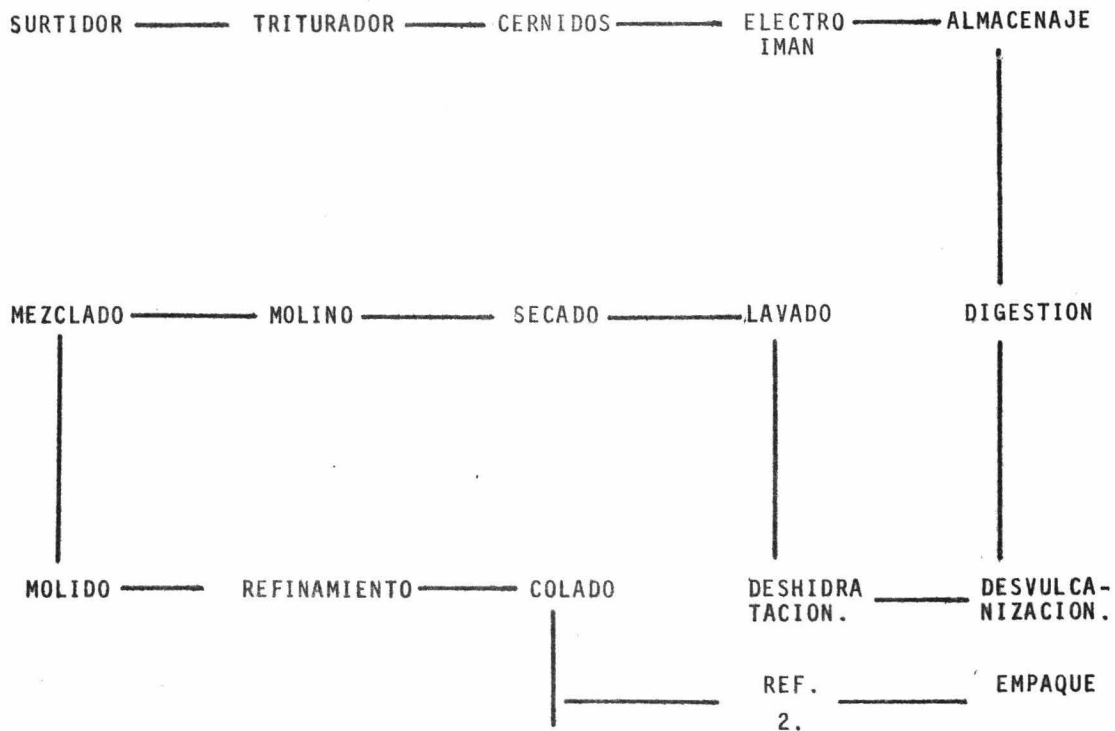
a través del regenerador final. Del refinador final el hu-
le sale como un papel delgado, esta hoja se enrolla en un-
tambor y se corta cuando dé una lámina de 1' de grueso, las
láminas se talquean y se llevan al almacén listas para su-
empaque.

Proceso del Calentador o Autoclave.

Es el más simple de todos los procesos de regenera-
ción, porque generalmente el desperdicio está libre de te-
la. El desperdicio libre de las fibras se puede moler fi-
namente para permitir una absorción uniforme de los acei-
tes regeneradores y de una buena conducción del calor du-
rante la desvulcanización. Esta molienda fina se aplica -
después de que el desperdicio se tritura, se cierne y esté
libre de cualquier metal ferroso, se usan varios tipos de-
molinos.

El desperdicio finamente molido se mezcla en un moli-
no abierto con aceites regeneradores, es conveniente usar-
medidas automáticas la mezcla se descarga en cajas abier-
tas, las cuales se ponen en un carrito a todo lo largo de-
un tecla horizontal, a continuación se pasa una presión --
sencilla de vapor después de que la puerta se cierra. Se-
usa una presión de 200 PSI y el tiempo se puede variar - -
cuanto se desee.

METODO DE DIGESTION



Después de la desvulcanización los panes se remueven de las cajas y están listos para la molienda o refinamiento de la misma manera como fue descrito para el proceso de digestión. Para mezclarlo con los ingredientes se puede usar un mezclador de cinta. Esta es una máquina horizontal con una serie de navajas, las cuales mueven la masa alrededor hasta que la mezcla se obtiene. Después del refinamiento preliminar se puede usar una tubuladora-mezcladora para una operación continua de mezcla, después de este tratamiento puede pasar a colarse y al refinamiento final; con variaciones y combinaciones deseadas. El proceso del tecla o de vapor abierto es relativamente barato porque el equipo es relativamente sencillo, la etapa de lavar y secar se eliminan y el rendimiento es alto.

METODO DEL AUTOCLAVE

PREPARACION
DE LA PESADA ————— DESVULCANIZACION ————— MOLINO

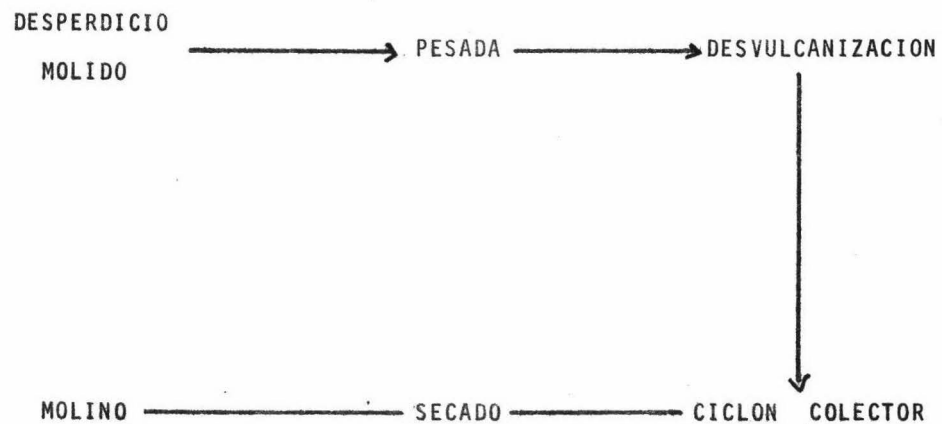
Proceso de Vapor a Alta Presión.

El desperdicio de la llanta finamente molido y libre de fibras se mezcla con agentes regeneradores y la carga se coloca dentro de un cañón de alta presión.

Vapor de 800 a 1,000 PSI (520 a 500°F.) se introduce y se mantiene de 1 a 10 minutos, la presión se reduce rápidamente y la masa que se regeneró se sopla en un colector ciclónico hasta que se desintegre.

Después de secar el hule, está listo para mezclarse y refinarse.

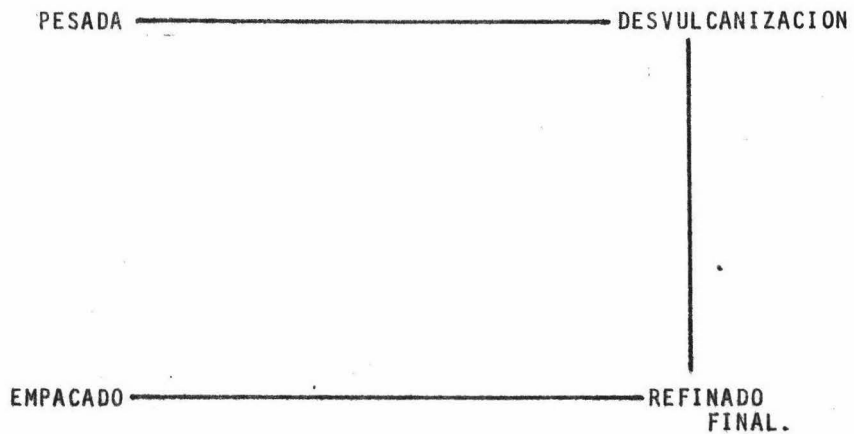
METODO DE VAPOR A ALTA PRESION



PROCESO DE LANCASTER- BANBURY.

El desperdicio molido, el aceite, las plastificantes, la carga y el negro de humo, se cargan en un banbury. Es -- preferible el desperdicio sustancialmente libre de fibras. - El bñbury es de una construcción extrafuerte, equipado con rotores de alta velocidad un martinete de alta presión y un motor poderoso. Una intensa acción de desgarrar debe operarse a una temperatura de 450° a 550°F. La desvulcanización - generalmente está compuesta de un ciclo de 7 a 15 minutos, - dependiendo del tipo de desperdicio, el hule se enfría a -- 250° a 350°F. antes de descargar en un molino refinador el - cual se refinará de la manera usual.

METODO DE LANCASTER-BANBURY



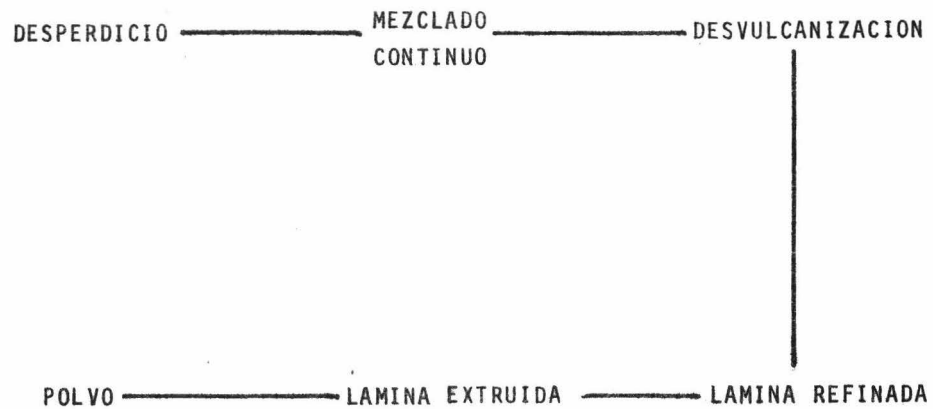
Proceso Reclaimator. ✓

El desperdicio de hule finamente dividido y libre de fibras se mezcla continuamente con los agentes regeneradores y se traslada a un reclaimator. El reclaimator es una máquina de extrusión de tipo tornillo, la cual está enchauquetada para controlar la temperatura por zonas. La capacidad de la máquina está diseñada para dar tiempo a que el hule esté en su interior no menos de 5 minutos. Se utiliza aceite caliente para el calentamiento de una chaqueta a otra y se emplea agua para enfriar las otras.

El gusano y la cabeza de la tubuladora tienen zonas de temperatura, estas zonas se controlan fácilmente por calentamiento o enfriamiento como el sistema de las camisas, con el resultado de que la máquina opera a un equilibrio todo el tiempo. El equilibrio de operación se alcanza en aproximadamente 2 horas cuando se arranca fría. Algunas veces este estado se alcanza en producción en la primera hora.

El material que se obtiene del reclaimator se enfría por rociado fino de agua y se procesa por uno de los tres métodos; se puede producir un polvo con malla del # 4; tubular directamente en forma de lámina y refinar, laminar en el familiar regenerado-laminado.

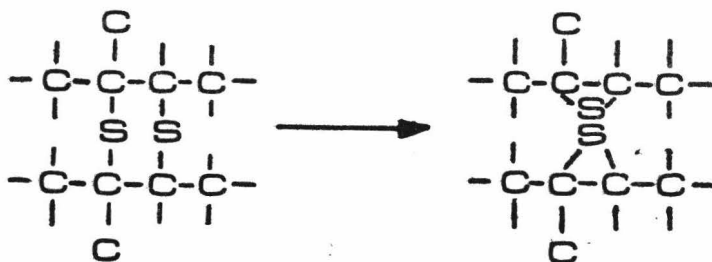
PROCESO RECLAIMATOR



C) POSIBILIDAD TEORICA DE UNA VERDADERA REGENERACION.

El término regeneración tiene su sentido en relación con su estructura que es necesario aclarar. La vulcanización se debe a la formación de puentes de azufre entre las moléculas del hule; como también se puede decir que la regeneración consiste en la eliminación del azufre responsable de esos puentes que hacen experimentar al hule cambios tan notables.

Pero no es así ya que el azufre permanece tal cual - en los regenerados actualmente conocidos. Se puede por lo tanto admitir que bajo el tratamiento regenerativo, cualquiera que éste sea, o bien hay incisiones en las cadenas del hule (como las producidas en el hule crudo por la calor de la masticación) hasta la destrucción de la red tridimensional responsable del estado vulcanizado o bien se puede pensar que se producen ajustes en los enlaces de azufre de la siguiente manera:



Lo anterior aún cuando no es una contestación satisfactoria, es una hipótesis que da sin embargo una explicación al retorno de las propiedades del hule en estado natural. El hecho de que el regenerado pueda ser nuevamente -- vulcanizable es una cosa normal, ya que la vulcanización no utiliza más que un pequeño porcentaje de las dobles ligaduras y por consiguiente aunque el azufre combinado permanezca tal cual, hay todavía suficientes libres para una nueva vulcanización.

Pero lo anterior es una hipótesis, y nosotros describiremos en el siguiente capítulo las experiencias que se -- llevaron a cabo, así como los resultados de las mismas y -- después compararíamos el producto resultante de nuestras experiencias con productos existentes en el mercado y así sabríamos si el regenerado es susceptible de utilizarse de -- nuevo.

CAPITULO IV

EXPLORACION PRACTICA DE UN METODO DE EXTRACCION DEL AZUFRE COMBINADO POR - DISOLUCION CON DISULFURO DE CARBONO.

En este capítulo ^{me} vamos a describir tres aspectos muy importantes en esta tesis. El primero de ellos es el desarrollo de los experimentos que ^{me} nos darían posteriormente -- pruebas para hacer valedero o no el proceso.

El segundo son los resultados de las experiencias que se llevaron a cabo y con ellas hacer una comparación con -- los ya existentes para los tipos de hule regenerados que se manejan constantemente en el mercado.

Como tercer punto, vienen las conclusiones que lógicamente se basan en los resultados de los productos que se obtuvieron.

O sea que básicamente lo que se describe en los siguientes incisos vienen a ser el aspecto más importante de esta tesis, y ^{podría} podemos asumir con certeza que si ^{me} nos limita-

nos a expresar más a fondo este tema hay una razón y es el poco entendimiento sobre el complejo de la regeneración del hule.

A).- DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS.

Antes de entrar en la descripción de el desarrollo de los experimentos es necesario conocer el tipo de agente regenerador que se utilizó en el proceso.

El agente es el disulfuro de Carbono, el cual se eligió básicamente por su gran poder de disolver azufre de las mezclas en las que se encuentra, ya sea libre o combinado.- En el caso del hule vulcanizado, el azufre es el responsable de la red tridimensional que se forma en la vulcanizada. No obstante, la ventaja anteriormente dicha, es un solvente demasiado peligroso pues es altamente inflamable, por lo que tomamos rigurosas medidas de seguridad.

Estas precauciones se tomaron en caso según el diseño y la construcción de los equipos que se utilizaron para el desarrollo de los experimentos, una de las precauciones más importantes fue la de sustituir las juntas de hule por juntas de teflón, las cuales no sufren ataque alguno por el bisulfuro de carbono.

A continuación citamos algunas de las propiedades generales del disulfuro de Carbono.

PESO MOLECULAR:	76.13
GRAVEDAD ESPECIFICA LQ:	1.261 22°/ 20
PUNTO DE FUSION:	-108.6°C.
PUNTO DE EBULLICION:	46.3°C.
PUNTO DE INFLAMACION:	30°C.

SOLUBILIDAD EN 100 PARTES.

AGUA FRIA:	.20 °
AGUA CALIENTE:	.014 50°

SOLUBLE EN ALCOHOL Y ETER ETILICO

DENSIDAD DE VAPOR:	2.64
PRESION CRITICA:	78 ATM
TEMPERATURA CRITICA:	237°C.
TEMPERATURA DE IGNICION:	100°C.

-Descripción del Equipo a Nivel de Operación Piloto.

En un principio pensamos en hacer una pequeña experiencia en un equipo sencillo, siendo el más adecuado para nuestras necesidades de operación piloto un recipiente hermético el cual lo sustituimos por una olla de tipo express con una resistencia a la presión de 1.4 Kg/cm², pero requeríamos de un medio de calentamiento, y el más adaptable fue una parrilla eléctrica integrada con un termostato para el control de la temperatura, aunque aquí -- era preferible calentar por medio de vapor, no fue posible por las condiciones de diseño de la olla. Procedimos a cambiar las juntas de hule por teflón además de adaptar le un manómetro y un termómetro para controles de presión y temperatura respectivamente.

Como lo indicamos en el prólogo, nuestro proceso se basa en un método de regeneración que ya existe y que tiene como principio el calentamiento del hule vulcanizado - en forma de fibra o polvo, el cual se coloca en un recipiente (autoclave) herméticamente cerrado, con adición de los agentes regeneradores en una proporción en que el hule quede cubierto por los agentes regeneradores. Nuestra primera experiencia en el equipo piloto fue determinante-

para poder definir las condiciones adecuadas de trabajo, como lo veremos en las experiencias a nivel industrial.

-Experiencia # 1.-

La mezcla en el reactor consistió en 200 grs. de hule-vulcanizado en forma de polvo y una adición de 200 ml. de bi sulfuro de carbono a nivel reactivo (concentración 95% a - - 98%).

Seguidamente se procedió a cerrar el recipiente y se encendió la parrilla. La temperatura máxima a la que se llegó fue de 65°C a una presión máxima de 1.4 Kg/cm².

En vista de que las especificaciones del equipo nos limitaron a unas condiciones de operación bastante bajas, puesto que para poder degradar el vulcanizado se requiere por lo menos llegar a la temperatura de vulcanización o rebasarla, y debido a esto consideramos que el proceso debería de llevarse a cabo en un equipo que tuviera un diseño con mayor margen en las especificaciones para poder trabajar con condiciones más altas, por lo que procedimos a localizar un equipo de tipo industrial.

Queremos mencionar que uno de nuestros objetivos en el proceso es el de disminuir básicamente el tiempo de opera-

ción, y esto está en función del gran poder de ataque del Bisulfuro de Carbono.

Como sabemos los tiempos de operación en algunos mé todos llegan a ser hasta de varios días, otros de varias horas, por lo que se intentará abatir bastante esos ci- cios tan largos.

-Descripción del Equipo Industrial que se adaptó en el --
Proceso.

El equipo industrial que se adaptó para el proceso, opera normalmente en la vulcanización de hule, para elabor ar ductos para fluídos. Este equipo es conocido industr ialmente como tecl e o autoclave, el cual tiene un sistem a de calentamiento por camisas de vapor y su diseño conre specto a la presión que soporta, se consideró adecuado para llevar a cabo nuestro experimento, puesto que las -- condiciones de trabajo requeridas para la regeneración -- son similares a las de la vulcanización y como dijimos ante riormente el autoclave se utiliza para vulcanizar arti culos de hule.

Como una medida de seguridad adicional, se introdujo en el tecl e un recipiente hermético, en donde se llevó

a cabo la reacción. Los instrumentos con los que se llevó a cabo el control de las condiciones del proceso son:

- Un manómetro, indicador de la presión del vapor en el calentamiento.
- Un termómetro con termopar al interior -- del autoclave.
- Un reloj para tomar tiempo de proceso.

Como dijimos anteriormente, el disulfuro de carbono, tiene un gran poder de disolver el hule y es por esto que como medida rigurosa de seguridad, sustituimos en el recipiente donde se llevó a cabo la reacción las partes de hule por teflón.

-Descripción del Experimento en el Equipo Industrial.

Las proporciones de los productos en este experimento, con relación a la experiencia piloto, no tuvieron alteraciones significativas, con excepción de las condiciones de operación que en este caso sufrieron alteraciones en la presión, temperatura y tiempo de proceso.

Para tener fundamentos de comparación en las pruebas que posteriormente indicaremos, pensamos en hacer tres experiencias teniendo como constantes: presión, temperatura y como variable el tiempo de residencia de la mezcla (hule CS₂) en el recipiente.

TIEMPOS DE LAS TRES EXPERIENCIAS.

1. Tiempo de residencia en el primer experimento 8Horas.
2. Tiempo de residencia en el segundo experimento 4 horas.
3. Tiempo de residencia en el tercer experimento 2 horas.

La variación en la reducción del tiempo del segundo y tercer experimento, con relación al primero, se basa en que, como el bisulfuro de carbono tiene un gran poder de ataque sobre el hule, ayudaría a reducir el tiempo de residencia comprobándose esto solamente al efectuar las prue--

bas y ver los resultados que indicaremos en el siguiente inciso.

En las tres experiencias mencionadas anteriormente, se incrementó la temperatura al alimentar vapor al sistema de calentamiento exterior, hasta llegar a una presión de 5 kg/cm² y a una temperatura de 155°C-, la cual es mayor que la temperatura que se usa durante la vulcanización.

Al finalizar cada experiencia, se procedió a darle un tiempo de enfriamiento al recipiente que contenía a la mezcla, pasándolo a una campana de extracción de gases con el fin de desalojar por la válvula de salida los residuos de vapor de bisulfuro de carbono.

Posteriormente se procedió a abrir el recipiente y a sacar el contenido, que en cada caso consistió en una masa pastosa que al oprimirla con los dedos se pegaba a éstos como si fuera un adhesivo.

A continuación la masa se dejó secar y se pasó a laminarla en un molino a base de rodillos, como resultado de este tratamiento se obtuvo con una gran facilidad una banda continua, la cual nos dio indicios de que el proceso regenerativo (antes de formular y efectuar pruebas) degradó-

las propiedades del hule vulcanizado, que básicamente es el -
objetivo de la desvulcanización.

B).- RESULTADOS.

En esta última parte del presente capítulo vamos a describir los resultados que se obtuvieron de las pruebas que se efectuaron al tipo de hule que se produjo en el proceso de regeneración.

Se tomaron como base dos tipos de pruebas. La primera consistió en efectuarle al hule regenerado (antes de formular) un análisis cuyo objetivo es el de determinar las propiedades más importantes y con esto hacer comparaciones con las propiedades de los diversos tipos de hule regenerado ya existente en el mercado y posteriormente conocer a qué tipo pertenece y cuáles serán sus usos.

El segundo tipo de prueba fue para conocer cuáles eran las propiedades mecánicas más importantes del hule regenerado como son elongación, resistencia a la tensión y dureza y para esto el regenerado se mezcló en una formulación con hule virgen. Esta formulación se destina normalmente a la producción de retenes de aceite para la industria automotriz. Después de tener la mezcla se procedió a la vulcanización con tiempos normales según datos proporcionados por la compañía en donde desarrollamos toda la --

parte práctica de la tesis.

A continuación citamos los resultados que se obtuvieron del primer tipo de prueba para conocer algunas propiedades químicas del regenerado.

GRAVEDAD ESPECIFICA:	1.17
EXTRACTO DE ACETONA:	10.60%
NEGRO DE HUMO:	35.80%
CENIZAS	3.75%
HIDROCARBURO HULE	49.85%

Las siguientes propiedades corresponden a un regenerado de llanta de primera calidad.

GRAVEDAD ESPECIFICA:	1.17
EXTRACTO DE ACETONA:	20%
NEGRO DE HUMO:	20%
CENIZAS:	8%
HIDROCARBURO HULE:	48%

Las propiedades químicas que se señalaron en la lista se determinaron de acuerdo con el ASTM D297-50T.

Si comparamos los análisis podemos decir que la cantidad de hidrocarburo de hule es semejante en los dos hules,

por lo que tenemos una parte de los resultados con datos suficientes para hacer valer el regenerado que se obtuvo en el proceso de regeneración.

Las pruebas para el segundo tipo de análisis, el cual consistió en conocer algunas de las propiedades físicas más importantes de el regenerado fueron los siguientes:

- Elongación.
- Resistencia a la tensión.
- Dureza.

Antes de describir las formulaciones con las cuales se hicieron las pruebas, queremos mencionar que un regenerado ya vulcanizado tiene una inferior resistencia a la tensión elongación, resiliencia y abrasión, etc., al compararlo con el correspondiente hule nuevo. Por ejemplo el hule de llanta de automóvil (tipo de hule que se empleó en el proceso de regeneración de esta tesis) que requiere una especificación de 300 Kg/cm² de resistencia a la tensión y una elongación de 550 a 650% va a producir un regenerado de aproximadamente 80-105 Kg/cm² de resistencia a la tensión y de 300 a 400% de elongación.

En lo que respecta a las formulaciones, en donde el regenerado se adicionaría en cantidades según lo requería -

la calidad del producto se hicieron dos formulaciones, una con una cantidad de regenerado con respecto al hule virgen de 16% y a la segunda con una cantidad con respecto al hule virgen de 48%, estos porcentajes se tomaron de acuerdo a la experiencia del departamento de desarrollo de formulaciones de la compañía en la cual se desarrolló la parte práctica de la tesis. Para comparar estas dos pruebas se tomó como base la formulación virgen sin adición de regenerado.

FORMULA 1 (Sin Regenerado).

S.B.R. -1712	137.5	Partes
ÓXIDO DE ZINC	5.0	"
ACIDO ESTEARICO	2.0	"
NEGRO HAF	60.0	"
ACEITE I.E.R. 354	10.0	"
P.B.N.	2.0	"
M.B.T.S.	1.3	"
THIONEX	0.1	"
AZUFRE	2.2	"

FORMULA # 2 (Con 16% de Regenerado)

S.B.R.-1712	123.75	Partes
OXIDO DE ZINC	5.0	"
ACIDO ESTEARICO	2.0	"
NEGRO HAF	60.0	"
ACEITE IER	10.0	"
P.B.N.	2.0	"
M.B.T.S.	1.3	"
THIONEX	0.2	"
AZUFRE	2.2	"
REGENERADO	22.0	"

FORMULA # 3 (Con 48% de Regenerado).

S.B.R.- 1712	96.25	Partes
OXIDO DE ZINC	5.0	"
ACIDO ESTEARICO	2.0	"
NEGRO HAF	60.0	"
ACEITE IER	10.0	"
P.B.N.	2.0	"
M.B.T.S.	1.3	"
THIONEX	0.2	"
AZUFRE	2.2	"
REGENERADO	66.0	"

Seguidamente estas tres formulaciones se sometieron al tratamiento mecánico y posteriormente se vulcanizaron en moldes de placas y así poder obtener probetas para someterlas a las pruebas de tensión, elongación y dureza.

Los resultados se encuentran en las gráficas 1, 2 y 3. La gráfica 1, es de la formulación núm. 1 y así respectivamente hasta la Núm. 3. Como podemos observar los valores se obtuvieron a diferentes espesores de las probetas como se indican en las gráficas.

Al efectuar la comparación de la gráfica Núm. 1 que es la de referencia con la Núm. 2 y la Núm. 3, podemos ver que los valores son como sigue:

GRAFICA (1).- Hule Virgen.

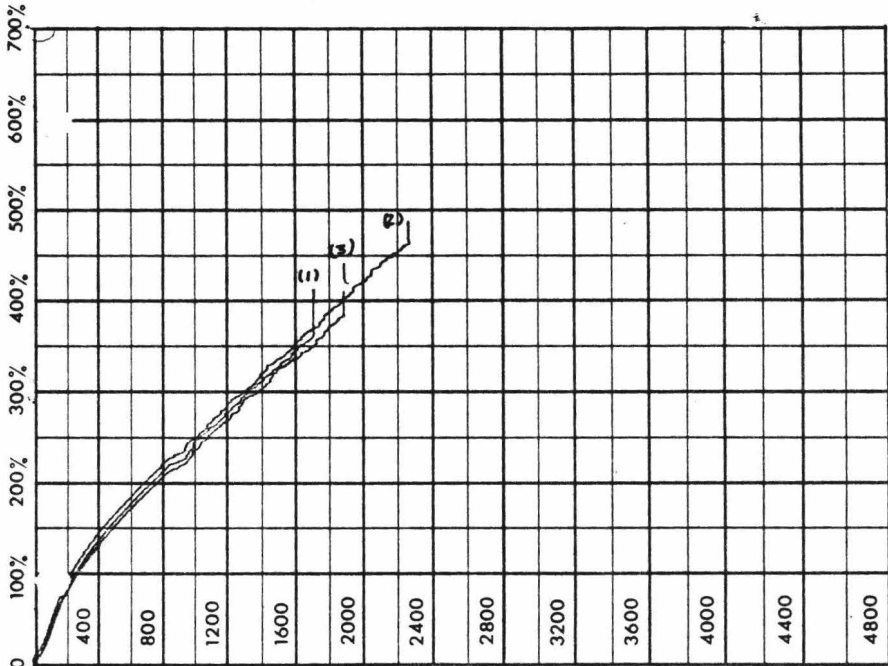
Resistencia a la tensión	2,250 lb/in ² o 156 Kg/cm ² .
Elongación	450%
Dureza	Shore A - 56

GRAFICA (2).- Regenerado 16%

Resistencia a la tensión	2,200 lb/in ² o 153 Kg/cm ² .
Elongación	350%
Dureza	Shore A - 60.

GRAFICA No. 1.

FORMULACION No. 1



TENSILE PER SQUARE INCH

D = SHORE A = 56

1 0.070 ESPESOR

2 0.070 ESPESOR

3 0.071 ESPESOR

4

5

6

7

8

9

10

ELONGATION

(1)

SCOTT TESTERS, INC.

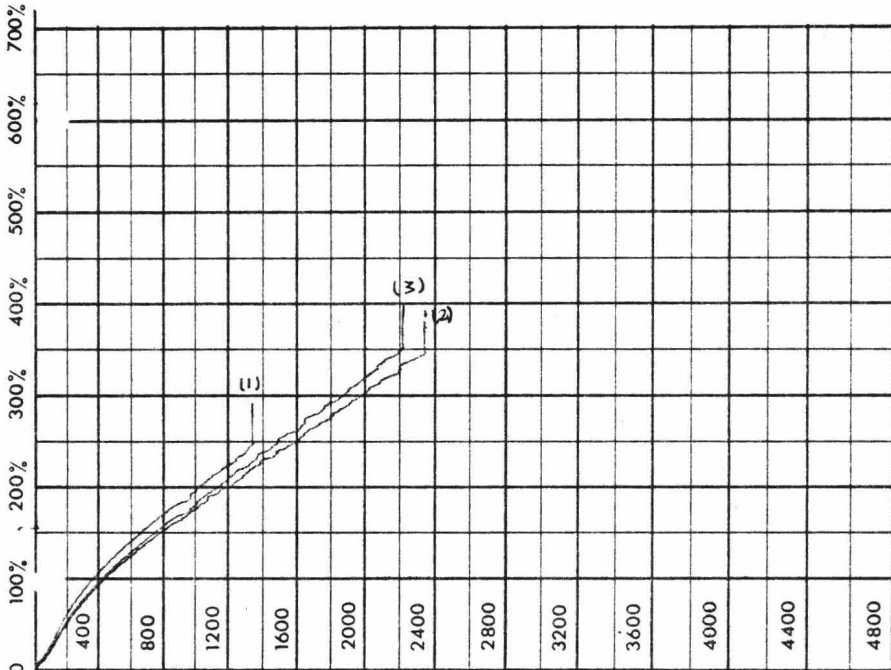
Providence, R. I., U. S. A.

"TENSILGRAM"
REG. U. S. PAT. OFFICE
"PRINTED IN U. S. A."

M

GRAFICA No. 2.

FORMULACION No. 2



TENSILE PER SQUARE INCH

D_{SHORE A} = 60

1	0.076	ESPESOR
2	0.081	ESPESOR
3	0.076	ESPESOR
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

ELONGATION

(2)

SCOTT TESTERS, INC.

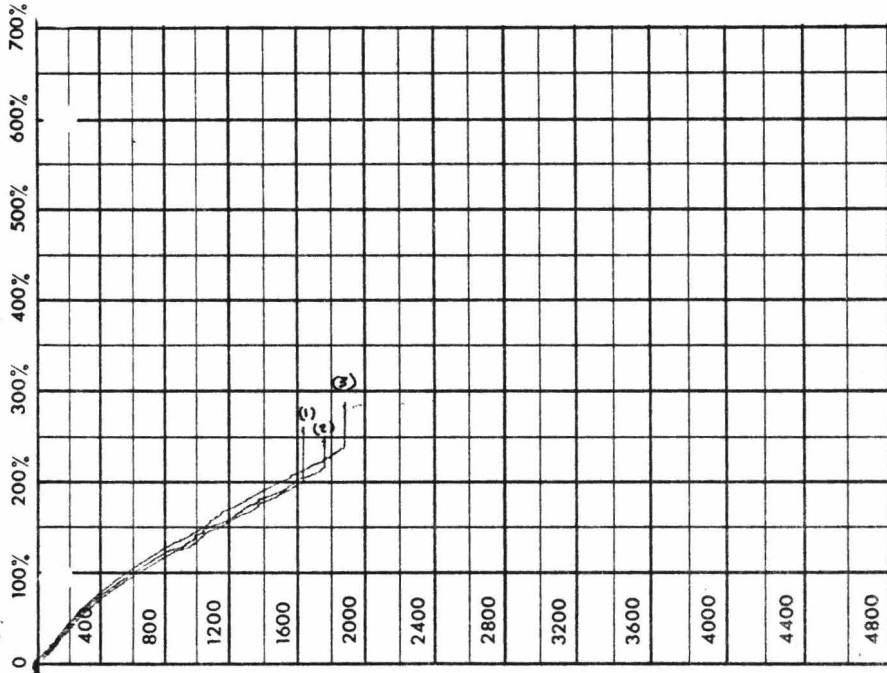
Providence, R. I., U. S. A.

"TENSILGRAM"
REG. U. S. PAT. OFFICE
"PRINTED IN U. S. A."

M

GRAFICA No. 3

FORMULACION No. 3



TENSILE PER SQUARE INCH

D SHORE A = 67

1	0.072	ESPESOR
2	0.074	ESPESOR
3	0.076	ESPESOR

ELONGATION

4
5
6
7
8
9
10

(2)

SCOTT TESTERS, INC.

"TENSILGRAM"
REG. U. S. PAT. OFFICE
"PRINTED IN U. S. A."

M

Providence, R. I., U. S. A.

GRAFICA (3).- Regenerado 48%

Resistencia a la tensión 1,900 lb/in² o 132 kg/cm²

Elongación 240%

Dureza Shore A - 67

Como complemento de una especificación requerible por la industria automotriz se le efectuó a los mismos productos una prueba de resistencia al desgarre y esto se indica en la gráfica # 4.

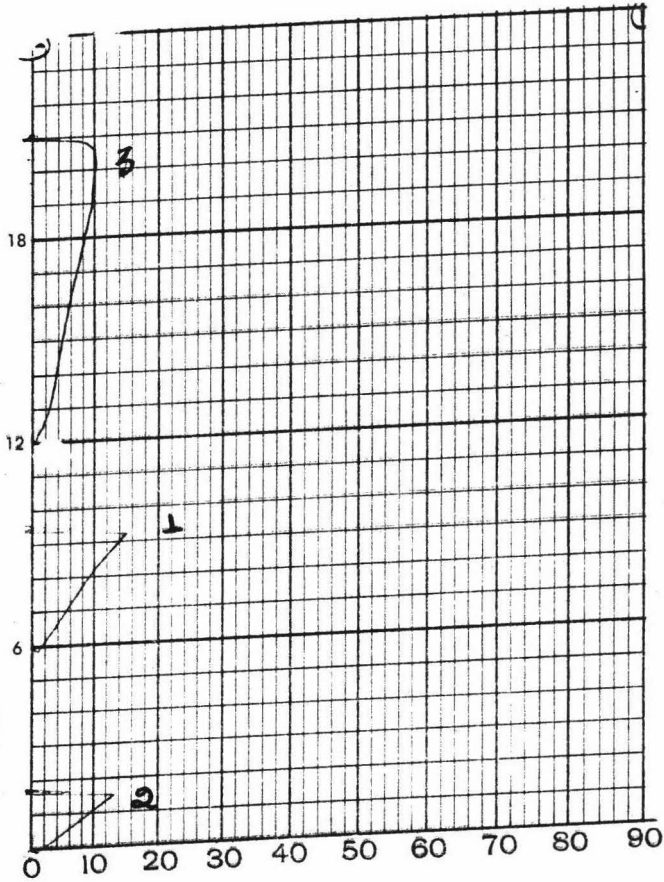
Al analizar los resultados de las tres gráficas podemos ver que las diferencias de las gráficas 2 y 3 con respecto a la gráfica Núm. 1 no son muy grandes, puesto que no se alejan de los valores que se obtuvieron en la formulación sin regenerado.

Por lo anterior podemos asumir que cualquiera de las fórmulaciones 1 y 2, se pueden llevar a cabo, según las especificaciones que requiera el producto final.

Creemos que con esto cerramos una parte de este tema tan interesante y a la vez muy poco explorado, y dejamos abiertas las posibilidades de estudios más profundos con la finalidad de encontrar otros métodos de regeneración para mejorar las características físico-dinámicas de los hules que se regeneran en la actualidad.

GRAFICA No. 4

PRUEBA DE DESGARRE



CAPITULO V

C O N C L U S I O N E S

Una vez terminado el presente estudio, cuyo objetivo principal es la regeneración de los desechos de hule vulcanizado concluimos lo siguiente:

Creemos que el hule regenerado por el método que se llevó a cabo en esta tesis, tiene posibilidades de ser explorado como un método práctico de regeneración; según los resultados que se obtuvieron en las pruebas descritas en el Capítulo IV, las cuales presentan características en el hule un tanto mejores a las que se obtienen por otros métodos de regeneración.

En la siguiente tabla mostramos algunas de las propiedades más importantes del hule regenerado que se obtuvo:

	Esfuerzo Tensil Kg/cm ² .	Elongación %	Dureza Shore A
FORMULA 1 Sin regenerado	156	450	56
FORMULA 2 Con 16% de regenerado	153	350	60
FORMULA 3 Con 48% de regenerado	132	240	67

Las formulaciones Se describen en el Capítulo IV.

Como se ve, la pérdida en las propiedades es muy inferior a la que se presentaría en un hule regenerado por métodos convencionales por lo que aparentemente se ha realizado una verdadera desvulcanización.

COMENTARIOS:

- El regenerado se puede utilizar combinándolo con formulaciones de hule nuevo en las proporciones que según lo requieran las especificaciones de los productos.
- El proceso no implica costos altos de producción, ya que se necesita de un equipo relativamente sencillo y el solvente que se utiliza es casi totalmente recuperado.

- Y todo lo anteriormente dicho representa para -- cualquier compañía un ahorro sustancial de materia prima, además de evitar desperdicios industriales que tarde o temprano motivarán problemas para nuestro país como es entre otros la contaminación.

BIBLIOGRAFIA

- W. J. S. Naunton
The Applied Science of Rubber
Edward Arnold Publishers Ltd.
London 1961.

- Fieser y Fieser
Química Orgánica.- Tercera Edición
Editorial Grijalvo, S. A.
México, D. F.- 1963.

- Deloy L. Arturo
Curso Teórico sobre la Tecnología del Hule.
Columbian Carbon International de México, S. A.
México, D. F.- 1963.

- W. L. Faith
Donald B. Keyes, Ronald L. Clark
Industrial Chemicals.- Third Edition
John Wiley and Sons Inc.
New York, London, Sydney.

- Perry John H.
Chemical Engineer's Hand Book.- Four Edition.
Mc Graw - Hill Kogakusha
New York- Tokio.

- REVISTAS.-

- Oropeza Mario
Aplicaciones y Manejo de Piezas de Hule para Motores
Automotrices.
Primera Edición.- INGEL, S. A.
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.
1970.

- El Hule Regenerado y sus Aplicaciones.
Transformadora Industrial Mexicana, S. A.
Tlalnepantla, Edo. de México.
-1974.