2/132

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION

"Modelo de Proceso para el Control de Calidad de Materias Primas en la Industria Llantera"

JOSE JESUS GARCIA CHAVEZ

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

1988

INDICE

INTRODUCCION

1.- Caucho natural

1.1 Origen del caucho natural.

La palabra caucho próviene del nombre que se le da a la savia de ciertas plantas de origen natural, con ella, los aborígenes de América Central y los indios del Amazonas elaboraban materias elásticas que tenían formas redondeadas u ovaladas. Ellos llamaban a ese material "caa-u-chu", que en su lenguaje significa "lágrimas de madera" y hoy en día se llama -- caucho. Esta planta es la Hevea- Brasiliensis, la cual cubre actualmente más de 4 millones de hectáreas que se reparten entre: Malasia, Indonesia, Ceilán e Indochina.

Estas plantaciones suministran el 97% del caucho natural del mundo.

1.2 Obtención del caucho natural.

La savia o el látex que es de donde se extrae el caucho natural, está contenido en una red de tubos capilares ó tubos laticíferos que se encuentran por todas partes vivas de la -- planta y en particular en ramas, raíces y troncos. En la Hevea- Brasiliensis, los vasos de esta red laticífera son continuos (no tabicados), ramificados y se comunican entre sí.

Para obtener el látex es preciso efectuar en la corteza de la Hevea-Brasiliensis una incisión que produce una abertura en el depósito constituido por los vasos laticíferos, por dicha incisión fluirá el látex, este parará de escurrir al cabo de 2-5 horas coagulándose sobre la incisión, lo mismo que la sangre se coagula sobre una herida; bastará al día siguiente abrir una nueva incisión para que nuevamente derrame el látex. Esta incisión se practica inclinada de izquierda a dere-

cha, con una inclinación de 20-30° . El corte puede interesar la tercera parte, la mitad o toda la circunferencia de el árbol, debiendo seccionar la mayor parte de los laticíferos de la corteza. Se va quitando así sistemáticamente la corteza de la superficie del tronco a partir de la primera incisión que se hace generalmente a 1.20 m. de la superficie del suelo. La Hevea-Brasiliensis recogida en las vasijas tiene la siguiente composición química dada en por ciento en peso:

COMPOSICION EN %	
Caucho	35.0
Albúmina	2.5
Resina	1.5
Sales	1.0
Agua	60.0
	100.0

El Isopreno es la molécula base del caucho natural, por la propiedad de tener dos dobles enlaces tiene la facilidad de polimerizarse entre sí. Es decir, los dobles enlaces de la molécula del caucho son de gran importancia porque permiten la vulcanización, aparentemente proporcionando hidrógenos alílicos reactivos; es decir, la formación de puentes de azufre entre cadenas diferentes. Estos enlaces cruzados endurecen y dan firmeza al caucho, eliminando el carácter pegajoso del caucho no tratado.

El caucho natural tiene la configuración <u>cis</u> en casi todos sus dobles enlaces.

La unidad isoprénica es uno de los bloques constructivos favoritos de la naturaleza. No solamente aparece en el caucho, sino también en una amplia variedad de compuestos que se aislan de fuentes vegetales y animales.

1.3 Obtención industrial del caucho

Para extraer el caucho del látex es necesario coagularlo. La coagulación se realiza por adición de ácido acético al 1% ó ácido fórmico al 0.5%. El precipitado formado que se conoce como hule látex, está compuesto de un 90-95% de hidrocarburos polímeros y pequeñas cantidades de resinas, proteínas y otras materias como se menciona en la tabla anterior.

Por calentamiento a una temperatura elevada este hule crudo se descompone produciendo: Isopreno, 2-metil-1, 3 butadieno, junto con otros hidrocarburos en menor proporción.

El hule hidrocarburo es insaturado y por ozonólisis forma aldehido levulínico, ($CH_3COCH_2CH_2CHO$). Esto indica que el hule básicamente un polímero 1 , 4 del Isopreno.

Como queda asentado lineas arriba, el Isopreno se forma cuando el polímero se parte en las uniones del principio y fin de cada molécula de Isopreno que es la unidad de dicho polímero. El aldehído levulínico se forma por ruptura del polímero en los dobles enlaces. Las unidades del Isopreno se encuentran unidas cabeza con cola, es decir, el C# 1 de una unidad de Isopreno se une al C# 4 de la siguiente unidad; los dobles enlaces de este polímero tienen una configuración cis .

El hule látex desde su llegada a la fábrica se filtra y se vierte en grandes recipientes, después se diluye hasta llegar a una concentración fija de caucho comprendida entre 12-20, en seguida se traspasa a baños de coagulación en donde se le mezcla cuidadosamente la solución del agente coagulante. Los baños de coagulación son rectangulares y contienen tabiques dispuestos de manera especial, de tal forma que el coágulo pueda formar una lámina continua. Estos tabiques están sostenidos por un cuadro móvil que permite el descenso y eleva--

ción del conjunto.

Cuando la mezcla del látex y el agente coagulante están bien homogeneizados se bajan los tabiques y se deja efectuar la coagulación. Después de tres ó cuatro horas se obtiene una banda lisa y continua que será lavada y enjuagada, por último secada, sin embargo, las condiciones de este tratamiento varían un poco, cuando se trata de obtener hule crepé u hoja ahumada.

Hoja ahumada (Su preparación).- Las placas de coágulo son dirigidas por canales en los que circula agua hacia el juego de laminadoras. Aquí el caucho es prensado y lavado al mismo tiempo. Estas laminadoras, frecuentemente se encuentran en número de cuatro, posee cilindros lisos que giran a la misma velocidad, excepto el último cuyos cilindros contienen grabados que imprimen a las hojas dibujos característicos facilitando el secado al aumentar la superficie de evaporación. Una vez terminada esta operación de laminado de las hojas, éstas pasan al secador ahumadero; esta operación tien por objeto secar e impregnar el caucho de sustancias creosotadas que desempeñan el papel de antioxidantes y antisépticas. El cíclo completo de secado dura de 2-4 días elevándose progresivamente la temperatura de 48 a 60 °C. Ciertas plantaciones preparan hojas secadas al aire igualmente pero suprimiendo el ahumadero, de esta manera resultan hojas claras que son apreciadas para ciertas fabricaciones en las que el color tiene importancia fundamental.

Crepé pálido y su preparación.- La preparación del crepé pálido diferirá un poco de la hoja ahumada. Aquí los laminadores o creadores son unas máquinas constituidas por dos cilindros paralelos que diferirán de los utilizados en la preparación de la hoja ahumada, giran a velocidades diferente y llevan en

su superficie estrías o canaladuras. Por consiguiente el caucho, que sufre un gran número de pasadas entre los cilindros, se estira y desgarra, como además la operación se verifica entre una corriente de agua, el lavado se hace de una forma extremadamente eficaz. Este crepé contiene menos constituyentes no-caucho, particularmente prótidos, por lo tanto no necesita ahumado para su conservación. El secado se puede efectuar a temperaturas ordinarias, siempre que se disponga de secaderos ventilados. La temperatura para verificar esta operación suele ser entre 40-45 °C, con duración entre 5-6 días.

Crepé suela.- Se obtiene por superposición de hojas delgadas de crepé sometidas a presión, se procura conseguir un producto tan blanco como sea posible. A tal fin se practica frecuentemente una precoagulación que permite separar la fracción más amarilla.

Crepés secundarios.- Estos crepés se preparan con los deshechos formados en el curso de la recolección y la fabricación. Los principales deshechos son los siguientes:

a) Banda de caucho coagulado recogido en la entalladura de la corteza de sangría.
b) Residuos del fondo procedentes del látex escurrido en la entalladura.
c) Caucho coagulado espontáneamente durante el transporte.

El conjunto de estos deshechos se designa con el nombre de: "SCRAPE", contiene numerosas impurezas y deben lavarse cuidadosamente.

Estos crepés son generalmente de color castaño y su valor comercial es inferior al del crepé pálido.

HEVEA CRUM-SMR.- Es el caucho natural preparado por un nuevo proceso desarrollado por: RUBBER RESARCH INSTITUTE OF MALAYA. El coágulo se convierte primeramente en un material desmenusa

do en pequeñas migajas, que pueden ser lavadas hasta alcanzar un elevado grado de pureza y que pueden secarse fácilmente. El producto se comprime después en bloques compactos.

El caucho Hevea-Crum está especificado técnicamente y se comercializa como caucho, SMR (STANDAR MALAYAN RUBBER). El caucho Hevea-Crum tiene una viscosidad Mooney algo más baja que la hoja ahumada de primera calidad, la que conduce a una masticación más fácil en la fábrica. La tendencia a la oxidación, medida por retención de la plasticidad después de un envejecimiento acelerado, es mínima.

Las especificaciones SMR se basan principalmente en la pureza garantizándose límites máximos de contenidos en impurezas por cada uno de los tres grados básicos, junto con límites para contenidos en cenizas, cobre, manganeso, nitrógeno y sustancias volátiles como se aprecia en la tabla siguiente:

Impurezas	(%)	0.05	0.2	0.50
Cenizas	(%)	0.50	1.0	1.50
Cobre	p.p.m.	80	.8	.8
Manganeso	p.p.m.	10	10	20
Nitrógeno	(%)	7	0.7	0.7
Sustancias volátiles	(%)	1.0	10	1.0

1.4 Características y aplicaciones del caucho natural

La comparación de las propiedades en los vulcanizados de los diferentes cauchos es de por sí más compleja que una comparación de las propiedades de los materiales vírgenes o crudos, por tanto no vamos a comparar el caucho natural con formulaciones a base de cauchos sintéticos en las que pueden intervenir muchas variantes. Nos limitaremos simplemente a enumerar las ventajas del caucho natural y algunas de sus aplicaciones más corrientes.

Tenacidad.- El caucho natural posee la mayor carga de rotura por tracción comparado con el caucho poli-isopreno.

Resistencia al desgarro.- Los vulcanizados de caucho natural dan en general buenos resultados en el ensayo de desgarro.

Abrasión.- La resistencia al desgaste por materiales abrasivos proporciona valores muy bajos en vulcanizados con fuerte proporción de caucho natural y negros de humo tipo ISAF. De ahí durante mucho tiempo el caucho natural ha sido empleado básicamente, en la fabricación de neumáticos.

En resumen, la mayor resistencia a la tracción y al desgarro del caucho natural se manifiesta en mejores características de fatiga, crecimiento por flexión y al desgaste, y conducen a un comportamiento mejor en aplicaciones mecánicas que implican desgastes, desgarro y deformaciones repetidas.

Aplicaciones.- Con caucho natural puede decirse que han llegado a fabricarse toda clase de artículos desde bolsas de agua caliente, gorros de baño, calzado de todo tipo, juntas automotrices, hasta neumáticos y recubrimientos eléctricos.

La aparición de los cauchos sintéticos, con una amplia gama de tipos específicos para aplicaciones particulares, ha reducido el consumo de caucho natural.

Algunos inconvenientes de los cauchos naturales, como por ejemplo, su deficiente resistencia al ozono y su reducida resistencia al contacto con aceites minerales han hecho preciso el uso de elastómeros sintéticos como el EPDM y los acrilonitrilos.

2.- Caucho sintético

La industria del caucho en sus orígenes, disponía solamente de una clase de caucho, el natural, procedente de la savia de la Hevea-Brasiliensis.

Como es lógico, con el transcurso del tiempo la producción del caucho natural no podía cubrir las necesidades del mercado tanto por motivos de cantidad como de calidad, al ir surgiendo nuevas aplicaciones en las que cada vez se exigían cualidades más específicas a las piezas de goma. Este efecto se vió muy incrementado al iniciarse la primera guerra mundial y con el auge que tomó la industria del automóvil y el desarrollo industrial de Europa y América. Consecuencia de esta situación fueron las investigaciones continuas en el sector de la química orgánica y concretamente en el campo de las macromoléculas.

Durante la guerra de 1914-1918, Alemania quedó aislada de los paises tropicales productores de caucho natural y en consecuencia volcó todos sus esfuerzos en la industria química en busca de un caucho sintético. Fruto de ello fué el primer caucho artificial existente, hecho a partir de: Dimetil-butadieno y se llamó: metil-caucho, lógicamente era demasiado caro de producir y hubo de abandonarse este método.

Las investigaciones fueron avanzando y en Alemania se perfeccionaron las series de los "Bunas"; estos cauchos lograron un gran desarrollo a partir de 1936 en Alemania, rápidamente se desarrollaron en EE.UU. y en Japón en los años siguientes (precisamente los que antecedieron a la segunda guerra mundial y durante el transcurso de ella). Las empresas continentales en Hanover no fueron destruidas, por creer los aliados que allí se guardaba el proceso de fabricación de los cauchos sintéticos - "Buna" -.

El caucho sintético coproducido en esas fechas fué conocido como GRS (Gobernement Rubber Styrene) ó sea Caucho Estirénico del Gobierno, ya que por considerarse entonces material bélico estaba controlada su fabricación y distribución por organismos estatales en EE.UU. Así fué como se inició la fabricación de caucho sintético en el mundo, al amparo de la necesidad surgida por el fuerte consumo que supone una guerra.

2.1 Fabricación de los cauchos sintéticos

La fabricación de los cauchos sintéticos tiene como base las teorías de la polimerización. La polimerización es una -- reacción que permite obtener, a partir de un compuesto, a otro producto de la misma composición centesimal pero de peso molecular mucho más elevado.

El ejemplo más claro que se puede hacer es: considerar la polimerización como la fabricación de una cadena partiendo de sus eslabones. Cada eslabón idéntico a otro se une con su vecino formando la cadena completa, esta sigue siendo del mismo -- metal que el eslabón pero su peso es mucho mayor así como su longitud. Se pueden unir eslabones de una sola calidad, o bien de dos ó más calidades alternándose ó distribuyéndolas de forma ordenada. Si a un eslabón lo llamamos MONOMERO al conjunto de la cadena le llamaremos POLIMERO.

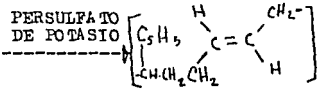
Si tenemos dos tipos de monómeros distintos, lograremos con el caucho un copolímero, si son tres los monómeros obtendremos un terpolímero, etc. Naturalmente unos monómeros son - muy fáciles de polimerizarse, mientras que otros presentan dificultades y algunos es imposible (al menos hasta la fecha), lograr que se unan formando una cadena, todo depende del grado de saturación.

La teoría más aceptada y lógica de como polimerizar un -

monómero es la siguiente:

Butadieno.- Como muchos monómeros son gaseosos hay que lograr su polimerización disueltos en otras sustancias, que se emplean como vehículo ó bien en emulsión. Naturalmente en este proceso de polimerización intervienen otros productos, tales como: catalizadores, antioxidantes, emulsionantes, etc.

Butadieno y estireno.- Este caucho se forma de la siguiente manera:



Naturalmente la propoción en que están combinados ambos monómeros, proporciona unas características especiales al polímero. La más frecuente es 37% de estireno y 62% de butadieno, este es el tipo usado normalmente para extrusión y moldeo de piezas normales. Cuando aumenta el contenido en estireno, se obtiene un caucho termoplástico que da piezas de alta dureza.

El caucho de Butadieno-Estireno es usado en la fabricación de neumáticos, suelas, pavimentos, cintas transportadoras, alfombras, etc. y en general todo tipo de artículos de hule con características especiales de calidad media.

El proceso de mezclas es algo más difícil que con caucho natural y por tanto requiere mayor consumo de potencia en los mezcladores.

La poca adhesividad del SBR hace que sea difícil usarlo en artículos confeccionados a menos que se le incorpore resinas especiales.

La resistencia a la abrasión es óptima mejorando incluso

al caucho natural. De ahí su uso en suelas, pavimentos y neumáticos.

También tiene una mejor resistencia al envejecimiento -- que el caucho natural, en cuanto a la oxidación por efecto del calor se puede decir que es excelente.

No resiste al ozono si no es con atioxidantes especiales. Sus valores mecánicos (con carga de rotura, alargamiento y rebote), son inferiores al caucho natural, si bien bastante aceptables, es muy frecuente usar al formular una mezcla de caucho natural con SBR. Para aprovechar las ventajas de ambos cauchos.

Butadieno Acrilonitrilo.- Estos cauchos pertenecen a -- los llamados de "usos especiales" debido a su particular resistencia a aceites y disolventes. Su estructura química es la - siguiente:

$$CH_2CH\ CH{=}CH_2 + CH_2CH\ CN \longrightarrow \left[CH_2\ CH{=}CH\ CH_2CH\ \underset{\underset{CN}{|}}{CH} \right]_n$$

Butadieno Acrilonitrilo Polibutadieno-acrilonitrilo

Cuando más alto es el contenido de ACN mayor es la resistencia a los disolventes y aceites, por ello se ha creado una gama de cauchos de ACN con diferentes contenidos en dicho producto, estos son:

Bajo contenido 20%
Medio bajo 28%
Medio 33%
Medio alto 35%
Alto contenido 38%
Altísimo 46%

El % de acrilonitrilo incluye además de la resistencia a

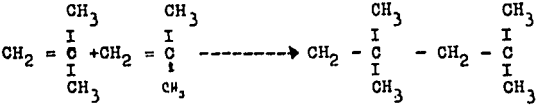
los aceites, en la resistencia al frio (empeora cuanto más ACN hay en la formulación del caucho), empeora, tensión y en el precio a mayor acrilonitrilo, mayor precio.

Las aplicaciones específicas de estos cauchos son: retenes de grasa, manguitos, tubos para aceites y disolventes, mangueras para gasolina, rodillos para la industria textil e industrias de artes gráficas, etc.

Las características mecánicas son bastante inferiores al caucho natural aunque pueden obtenerse valores suficientes para las piezas que por ser preciso estén en contacto con disolventes o aceites y no requieren valores de tracción o rebote muy altos. La resistencia al ozono es mala, si no se usan antioxidantes especiales o mezclas con PVC.

Butilo.- Ya antes de 1939 se inició la producción de caucho Butilo. El monómero de este caucho es el isobuteno.

En la polimerización del monómero, su doble enlace se rompe formando un polímero de mayor peso molecular.



Isobuteno Polisobutilo

Así el polímero obtenido por monómero de isobuteno no se vulcaniza con azufre. Para hacerlo vulcanizable con azufre debe contener dobles enlaces libres, lo cual se consigue añadiendo a la polimerización un componente hidrocarburo, que puede ser el 2-metil-butadieno en un 3% respecto de el isobuteno. Como vemos, el caucho butílico es un copolímero que contiene un máximo de un 3% de 2-metil-butadieno en isobuteno.

Es el butilo un caucho con carácter lineal y con pocos enlaces, lo que le dá sus buenas propiedades de resistencia a los ataques de la intemperie (ozono y calor). Otra propiedad importante es su poca permeabilidad gaseosa, como contrapartida es su apatía ante la vulcanización, pero esto puede compensarse con un sistema de vulcanización adecuado.

Dado su carácter inerte, en combinación con otros cauchos surgen complicaciones al absorber el acelerante de los demás compuestos produciendo serios problemas en la elaboración por contaminación con butilo al dejar crudas las mezclas. Para hacerlo más compactible con otros cauchos han surgido las modificaciones del bromo-butilo y el cloro-butilo que se emplea comunmente en dichas fabricaciones.

El butilo es el caucho idóneo para la fabricación de cámaras para neumáticos y de recubrimiento de cables eléctricos. Se usa poco para artículos de usos especiales dada su difícil recuperación al ser deformados.

GENERALIDADES

1.- Productos auxiliares para la fabricación de productos de hule

Los artículos de goma raramente están constituidos únicamente por el elastómero, todo lo contrario, se le añaden una serie de productos para:

1) Mejorar ciertas propiedades del artículo en cuestión.
2) Para mejorar ó ayudar a su proceso de fabricación.
3) Para reducir costos de su fabricación.

El número de productos auxiliares es muy grande y lo dividimos en grupos, sin con ello querer dar una escala de importancia de valores.

Regenerado.- Cuando se habla de regenerado, le acarrea un desprecio de mala calidad, lo cual no es siempre cierto.

Después del descubrimiento de la vulcanización aumento considerablemente el consumo del caucho de forma que pronto se produjo un vacío en la demanda. Por ello se ideó la forma de volver a recuperar el caucho industrializado de los artículos deshechados ó de desperdicio, saliendo al mercado un sin fín de procesos de regeneración.

La regeneración de los neumáticos pudo hacerse por un proceso alcalino, que destruye y libera al conjunto de la parte textil. Hoy día se separa la fibra textil de la goma por proceso mecánico y se realiza la regeneración por el sistema de vapor. La separación y selección de caucho natural y sintético debe ser lo mejor posible.

En los neumáticos se eliminan los sujetadores metálicos (ceja), y se separa mecánicamente la fibra textil, se pulveri

za la goma a un tamaño mínimo de 1 mm. y se introduce en el - proceso de regeneración.

La despolimerización se produce por adición de aceites — en un atoclave de presión (sistema continental, Teodoro Gonzá les) con vapor a alta temperatura y un ciclizante poderoso, - es el sistema RESCO.

Después del proceso de regeneración es muy importante el dejar reposar algún tiempo el regenerado.

En las fórmulas se cuenta el 50 % del mismo como conte-- nido en elastómero.

El regenerado tiene las siguientes ventajas:

1) Abaratamiento de las mezclas.
2) Los tiempos de mezcla se pueden cortar.
3) Reduce a la mitad el consumo de energía de la mezcla.
4) Las mezclas con regenerado evitan las contracciones y el efecto de calandra.
5) En artículosfabricados por inyección se consigue una - mejor exactitud en las medidas y una mejor conformación del caucho.

Los inconvenientes son:

1) Reducción de la carga de rotura (en general reducción de sus características físicas).
2) Reducción de la resistencia a la abrasión.
3) Superficie rugosa.

Polvo de goma.- Por molienda de productos vulcanizados se ob-- tiene el polvo de goma. Este producto no plastificante, no -- tiene las propiedades del regenerado, en general rebaja las -. características del producto final, aunque también el precio y por ello se utiliza en suelas, tacones, etc.

También puede facilitar la salida de aires en ciertas - piezas de moldeo.

Facticio.- El facticio se obtiene por reacción de ciertos aceites animales con azufre (S) ó por reacción con cloruro de azufre (S_2Cl_2). Según el tipo de fabricación se obtiene facticio marrón o blanco.

El facticio es un producto de ayuda tecnológica. La dosificación puede ser de 5-100 partes por 100 partes de elastómero.

La utilización del facticio nos da las siguientes ventajas:

1) Da al mezclado una mejor plasticidad.
2) Es una magnífica ayuda de extrusión, mejorando las características reológicas y disminuyendo el llamado efecto de calandra.
3) El facticio facilita la mantención de forma al caucho - propiedad importante para la vulcanización libre.
4) Da a la superficie un brillo y un aspecto mejor.

Mojantes.- Humectantes ó mojantes; este concepto es importante pues nos ayudará a comprender el efecto reforzante de las cargas, y con un ejemplo nos ayudara a comprenderlo, cuando - tenemos las manos grasientas y queremos mojarlas el agua perles sobre ellas, solamente cuando se les enjabona se pueden - mojar ó sea el jabón es un mojante ó humectante.

El humectante más utilizado en la industria del caucho es el ACIDO ESTEÁRICO, que al mismo tiempo tiene las propiedades de activador.

Plastificantes.- Durante el procesamiento de un compuesto de hule, necesitamos mejorar las propiedades de flujo de dichos

aglomerados.

En la actualidad existen tres medios para lograr este objetivo:

a) El trabajo mecánico (se aplica en un molino).
b) Plastificantes químicos.
c) Plastificantes físicos.

La función de los 2 primeros es la de cortar las cadenas moleculares. Por medio de la acción químico del oxígeno. Los plastificantes de tipo físico lejos de romper las cadenas de polímero, actuan como lubricantes intermoleculares, los cuales permiten el deslizamiento entre las cadenas del plastómero.

En todos los casos la estructura de los aglomerados se hace menos compacta, lo que trae como consecuencia la disminución de la viscosidad del compuesto.

Plastificantes químicos (PEPTIZANTES).-

1) Mercaptobenzotiazol (MBT).
2) Difenilguanidina (DPG).
3) Disulfuro de tetrametiltiurano (TMTD).
4) Xilol mercaptano (RPA).

Plastificantes físicos (ayudas de proceso ablandadores y extendedores) :

1) Derivados del petróleo.
2) Aceites aromáticos.
3) Aceites nafténicos.
4) Aceites paraffínicos.
5) Resinas.

Mordientes.- Estos son productos de ayuda de proceso, tales como sustancias que también son usadas como aglutinantes, re-

sinas, que dan un efecto secante a la mezcla.

Las resinas se obtienen de: la madera (árboles), subproducto de la destilación del petróleo.

Estos productos dan efectos especiales al caucho, tales como endurecimiento, en cubiertas de rodamiento, asegura el - enganchamiento entre el casco y la misma.

Algunas sustancias para tal efecto se mencionan en seguida:

1) Colofonia.
2) Pinetal.
3) Bitumen.

Cargas.- Recordando el efecto que comentamos anteriormente. El caucho aquí representa el aceite y la carga el agua, ó sea la carga se mezcla con el caucho como un cuerpo inerte, con ayuda del ácido u otro plastificante se consigue incorporar - la carga al caucho, pudiendo actuar ciertas fuerzas internas (de VANDER-WAALS).

El efecto reforzante de una carga depende fuertemente de varios factores:

1) Tamaños de la partícula.
2) Características de la superficie de la partícula.
3) Composición química.

Las cargas se dividen en:

a) Carga activa.
b) Carga inactiva ó inerte.

Lo más importante de las cargas activas es el negro de -- humo, el cual se divide según su proceso de fabricación y sus características de la siguiente forma:

El procedimiento "CHANNEL", en el cual las llamas de la

combustión de gas natural incide sobre un tinel de hierro en forma de "U", depositándose el negro que posteriormente se separa. De este procedimiento existen tres variantes:

a) EPC = Easy Processing Channel.
b) MPC = Medium Processing Channel.
c) HPC = Hard Processing Channel.

El procedimiento "furnace", continuo que se realiza en hornos especiales de combustión parcial de gas natural ó hidrocarburos, y se separa seguida y electrostáticamente de los gases mezclados.

La combustión se realiza entre los 1 200- 1 600°C., consiguiéndose una serie de productos según su tamaño de partículas y actividad:

SAF = Super Abrasion Furnace Black	(buena abrasión)
HAF = High Abrasion Furnace Black	(buena abrasión)
ISAF = Inter Super Abrasion Furnace Black	(buena abrasión)
FEF = Fast Extr. Furnace Black	(fácil abrasión)
HMF = High Modulus Furnace Black	(buen módulo)
GPF = General Purpose Furnace Black	(aplicación universal)
SRF = Semi Reinferning Furnace Black	(Semi reforzante)
CF = Conducting Furnace Black	(Conductor)

Los negros típicos de banda de rodamiento de neumáticos son el HAF y el ISAF. El HMF es el negro para mezclas de goma para carcasas.

Procedimiento "THERMAL".- Este procedimiento consiste en quemar aceites ó gas en un horno recubierto de unas piedras a 1 600°C; calentando la cámara de combustión al rojo vivo previamente, entonces se hace entrar gas natural, de forma que se descomponga en "negro" e hidrógeno. El negro se retiene en filtros mientras que el hidrógeno se utiliza para hacer

lo quemar si la temperatura del horno ha descendido por debajo de los 1 100°C, este proceso funciona descontinuadamente.

De este negro de humo existen también sus modalidades:
MT = Medium Thermal.
FT = Fine Thermal.

Así resumiento los tres grupos importantes de negros son:
a) CHANNEL.
b) THERMAL.
c) FURNACE.

Hoy día se presentan los negros en forma de perlas envasados en sacos o a granel en camiones especiales, con ello se ha reducido enormemente la cantidad de polvo. El negro es la carga m's importante de la industria del caucho, dando al producto terminado buena de rotura, reduciendo la abrasión y resistencia. La dosificación de este producto es muy diversa según el tipo de caucho y según el tipo de negro.

En negros activos del órden de 10-50 % sobre caucho y en negros inactivos de 30-100 % o más sobre 100 % de caucho.

Cargas Blancas.- A causa de la escasez de negro de humo en la Segunda Guerra Mundial, se activó el estudio del consumo de cargas blancas como sustituto parcial del negro de humo, creando una nueva era de la industrial del caucho al crear gomas de colores, creando un nuevo mercado.

Hoy día, el número de cargas blancas es tan grande que es necesario clasificarlas, igual que el negro de humo:
LR = Ligeramente Reforzante.
MR = Medio Reforzante.
HR = Altamente Reforzante
SR = Super Reforzante
ER = Extremadamente Reforzante

Según su forma de fabricación exigen estos productos una clasificación que es:

PP = Proceso Pyrogeno
TP = Proceso Thermal
WP = Precipitación acuosa (wather)
MN = Modificación de un producto natural
N = Producto Natural

Como otra denominación tenemos a su molécula básica, así:

$$WP - SiO_2 - SR$$

Que quiere decir: Acido silícico precipitado en agua, (muy reforzante).

El éxito mayor en las cargas blancas han sido los ácidos silício en fínísima forma que han llegado a llamarse negros -- blancos, tal como el Aerosil (tamaño de partícula 20-30,10^{-6}m. peso por litro 60 gr./l). La superficie de 1 gr. de aerosil tiene una superficie de 175 m^2.

Las cargas silícicas más importantes son:

PP - SiO_2 - ER = Aerosil
WP - SiO_2 - HR = Hisil, Dursil, Vulcasil.C.
Microsil, Ultrasil VN3.

<u>Cargas Inertes</u>.- Una limitación exacta entre las cargas activas e inertes no existe.

Las cargas inertes o inactivas no tiene ningún efecto reforzante, normalmente reducen las características mecánicas de la mezcla, principalmente se utilizan para reducir los costos de la mezcla, aumentando dureza y peso específico.

<u>Caolín</u>, este producto da a las mezclas dureza y sequedad (se usa para cajas de baterías).

LR - Caolín - N

Algunos de estos productos se llaman: China Clay, Dixie Clay, etc.

Carbonato, LR - CaO_3 - N, hace la mezcla blanda y ayuda a la extrusión, se encuentra en la naturaleza en diversas -- formas debe ser molido y lavado, el precio es muy reducido.

Otras cargas inactivas son: talco, Kieselgur, Barita, Litopon, etc.

Otros productos auxiliares: colorantes y pigmentos; estos se dividen en dos grupos:

1) Minerales
2) Orgánicos

Colorantes minerales, para conseguir productos de goma totalmente blancos debemos tener en cuenta la base, o sea, debemos de proveernos de FIRST LATEX hoja ahumada, lo mismo nos sucede - si queremos conseguir colores nítidos (limpios).

Oxido de Zinc, debe estar exento de plomo, ya que este se vuelve negro con el ácido sulfhídrico existente en el ambiente industrial.

Fórmula química: ZnO
Peso específico: 5.6 gr. cm^3
Tamaño de partícula: de 0.5 hasta 1 mm.
Aspecto: polvo blanco hasta piráceo.

En las mezclas de hule actua dependiendo de el porcentaje que se aplique y el tipo de hule que se emplee.

- Como activador de la vulcanización, del 3-5 %
- Como transmisor térmico de la mezcla hasta el 50 %
- Como vulcanizante con hules clorados del 5 - 15 %
- Como estabilizador efectivo en el envejecimiento de policloroprenos del 15 - 25 %

- Como carga reforzante (los ZnO -activados) hasta el Litopon, es una mezcla de sulfatos de zinc (ZnS) y barita ($Ba-SO_4$)

Oxido de Titanio.- (TiO_2). Es un blanco brillante y es la base de mezclas blancas y colores pastel. Una vez teniendo una base blanca, puede ser esta coloreada con colorantes tales como: óxido de hierro (amarillo, naranja y negro, según sistema de fabricación).

Oxido de cromo (verde).- El gran inconveniente de los colorantes minerales es su precio y la gran cantidad que debe utilizarse para conseguir los colores deseados. Todos los colorantes minerales deben estar exentos de Cu^0 (cobre) y Mn^0 (manganeso), si se deben utilizar en la industrial del caucho por ser veneno para el mismo.

Pigmentos orgánicos.- Existe una abundante oferta en el mercado pero aquí también tenemos que tener en cuenta lo de los venenos de la goma. Estos pigmentos son de precio muy elevado pero su rendimiento es muy grande y se dosifica en pequeñas cantidades lo que recomienda su utilización y conseguir un color homogéneo.

Los buenos colorantes orgánicos deben ser también estables a la luz.

Esponjantes.- Estos productos se descomponen por la acción del calor, creando gases y se utilizan para hacer las gomas de esponja o microporosas. Los esponjantes más importantes son el bicarbonato amónico, así como compuestos orgánicos tales como el Porofor -Benzosulfato- hidrasina (BSHO). La fabricación de esponja de látex no se obtiene de caucho macizo ó sintético, sino de soluciones del látex de caucho natural como de caucho sintético. Conocémos el proceso TALALAY, que provoca descomposición de un peróxido que produce el esponjamiento. También el proceso

DUNLOP, que produce el esponjamiento por medio de batidores y - aire comprimido (máquinas Oaks).

Perfumantes.- Sustancias químicas orgánicas qué "Tapan", ciertos olores desagradables de la goma, tal como el olor a pino, café, a rosas, etc.

Antiflamables.- Todas las mezclas de caucho a base de caucho natural, nitrílico, butílico así como, Buna son inflamables. Hay - ciertos artículos que se le exige la característica de ANTIFLAMABLE, como las cintas transportadoras en minería. Ello nos obliga a utilizar cauchos antiflamables como Cloropreno, así como productos que contengan cloro, químicamente hay sustancias como -- fosfatos, boratos que evitan la combustión al producir un esqueleto mineral alrededor del caucho protegiéndo a éste, sencillamente el yeso y el carbonato de magnesio se descomponen por el calor, produciendo CO_2 y con ello apaguen el posible fuego. Debe evitarse la utilización de plastificantes combustibles.

Antioxidantes, antifatigas y protectores de luz.- Si observamos los neumáticos o las lunetas de un coche viejo tienen ciertas grietas, el artículo de goma sufre ciertas transformaciones de envejecimiento por la acción atmosférica, el calor, el oxígeno y el ozono, la luz y la fatiga mecánica.

En la polimerización como ya se explicó se unían moléculas sencillas entre sí por el desdoblamiento del doble enlace, que es también el punto vulnerable para los efectos de envejecimiento. La despolimerización, roturas de cadena, etc. se producen por oxidación que se evita utilizando productos que fijan - el oxígeno, elemento destructor. Otros productos facilitan la - trasmisión de energía, protectores de la fatiga y otros son protectores contra la luz, tales como las ceras.

Existen dos grandes grupos de protectores en general que

son: los manchantes y los no manchantes. La dosificación de estos productos es de 0.5 - 2 % en 100 % de caucho. Con la combinación de varios protectores se consigue frecuentemente efectos sinergéticos.

2.- Proceso de vulcanización

Origen.- Debemos atribuir la gloria del descubrimiento de la vulcanización a CHARLES GOODYEAR, quien en 1831 realizaba unas experiencias para lograr el secado de los artículos fabricados con caucho para evitar su pegajosidad, uno de los secantes que utilizaba era el azufre. En 1839 de una forma casual (existen muchas versiones distintas) observó que el caucho con azufre calentado durante unas horas se volvía elástico y que no variaban sensiblemente sus propiedades con la temperatura. Patentó el sistema en 1844.

Mientras, el inglés Hancook en 1841 estudiando y analizando muestras de Goodyear redescubrió la acción del azufre y del calor, dándole el nombre de vulcanización y patentándole en 1843, antes que Goodyear.

Este descubrimiento transformaba el caucho, con baja tensión, alta deformación, sensible al calor y al frio, que se vuelve pegajoso con la luz, que se hincha y se disuelve en muchos líquidos orgánicos; en otro caucho con mayor resistencia a la tracción, baja deformación, no sensible a los cambios de temperatura e insoluble en su mayoría en los líquidos orgánicos, pero con unos defectos, era demasiado blando para muchos usos y con un tiempo de vulcanización de varias horas.

Buscando cargas que añadir al caucho se descubre que el óxido de zinc y otros metálicos disminuyen el tiempo de vulcanización .

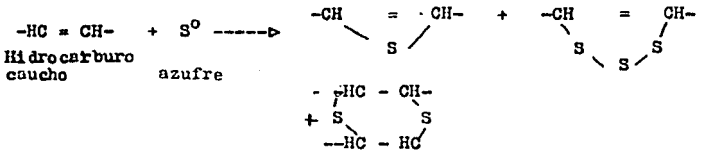
El primer acelerante que se usa es la anilina que tiene un inconveniente, su alta toxicidad. Así, la anilina es sustituida por la tio-carbenilida y después por mercapto-benzo-tiazol, que deja el tiempo de vulcanización en 45 min., manteniendo las propiedades del vulcanizado después de envejecer. Se observaba que el envejecimiento disminuye cuando se vulcanizaba con una menor cantidad de azufre, lo que se puede lograr con mezclas acelerantes. Goodyear utilizaba un 20 % de azufre inicialmente, mientras que después solamente utilizó del 1.5 - 3 %.

Vulcanizar es transformar el caucho de plástico en elástico, mediante puentes que transforman las moléculas de lineales en tridimensionales, no siendo necesarios un gran número de puentes o enlaces intermoleculares sino un número limitado de ellos.

<u>Vulcanización</u> (división) :

a) Vulcanización con azufre.
b) Vulcanización sin azufre.

<u>Vulcanización con azufre</u>.- Va a ser la que aquí veremos con más detalle, por ser la que se emplea con preferencia. Su agente vulcanizante va a ser el azufre (S) que ante el caucho natural o artificial que contenga insaturaciones, puede formar puentes de las siguientes formas:



<u>Activadores</u>.- Se ha visto que la presencia de óxidos metálicos disminuía el tiempo de vulcanizado y disminuía la cantidad de azufre necesario, pero se observó que si antes de añadir azufre

y óxidos-metálicos se hacía una extracción acetónica al caucho, el óxido perdía todo su poder activador, indica que es necesario algo para activar la vulcanización, este algo es un ácido graso, pues al añadir del 1-1.5 % de un ácido graso, el óxido recobra sus propiedades. Como activadores tenemos:

a) Inorgánicos: Oxido de Zinc.
Oxido de Magnesio.

b) Orgánicos: Acido Esteárico.
Acido Oléico
Acido Palmitico.

Para una vulcanización correcta son necesarios aproximadamente 5 % de los primeros por 1 % de los últimos. Veamos -- cual es el proceso:

1° .- El ácido graso forma con el óxido de zinc, un jabón soluble.

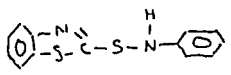
2° .- Este jabón reacciona con el acelerante para dar una sal de zinc.

3° .- Esta sal reacciona con el azufre dando polisulfuros que son inestables y que se descomponen dando azufre naciente.

<u>Acelerantes</u>.- Estos también tienen por misión disminuir el - tiempo de vulcanización y modificar la calidad del vulcanizado. Una vulcanización sin acelerantes tiene tendencia a dar - puentes polisulfurados, lo que favorece el envejecimiento, necesitándose gran cantidad de azufre. Mientras que una aceleración apropiada nos dará puentes monosulfurados o disulfurados.

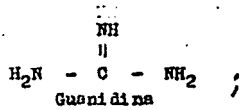
ACELERANTE TIPO SULFENAMIDA.

R - S - OH R - S - NH_2
ácido sulfónico sulfenamida

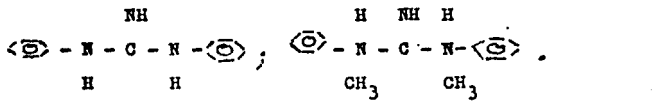


Ciclo -hexil 2 benzotiasol; sulfenamida.

ACELERANTE TIPO GUANIDINA.

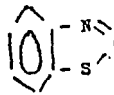


Guanidina



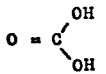
Difenil-Guanidina (DPG) Orto-difenil-guanidina (DOTG)

ACELERANTE TIPO MERCAPTO



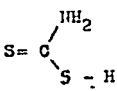
2-mercapto-benzotiazol, (MBT)

ACELERANTE TIPO DITIOCARBONATO (proceden del ácido carbónico)



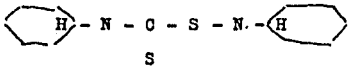
ácido carbónico.

sustituyendo un "OH" por un "NH_2" tenemos una amida, y sustituyendo los otros dos oxígenos por azufre, tenemos el ácido - ditiocarbamínico:



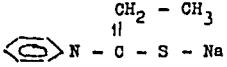
De estos existen tres clases fundamentales:

a) Sales de la piperidina



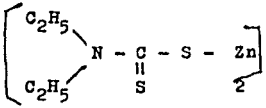
N-Pentametilendi tiocarbamato de piperidina (Vulcacit-P).

b) Sales sódicas

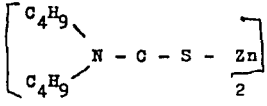


Etil-ciclohexil, ditiocarbamato de sodio (Vulcacit-WL).

c) Sales de zinc



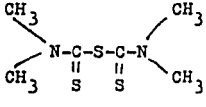
Dietil-ditiocarbamato de zinc (LDA).



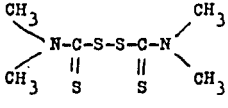
Dibutil-ditiocarbamato de zinc

ACELERANTE TIPO TIURAMO.- Existen también dos tipos; a) monosulfurados y b) disulfurados.

a) Monosulfurados, como

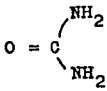


Tetrametil-tiuramo-monosulfuro (MTMT).

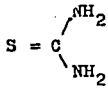


Tetrametiluram disulfuro (DTMT)

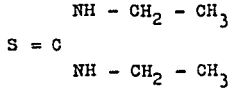
ACELERANTES TIPO TIUREA (proceden de la Urea).



Urea



Tiourea



Etilen-Tiourea (ETU)

Retardantes.- Junto con los acelerantes y activadores son necesarias algunas veces la presencia de retardantes para evitar el tostado. Se emplean paralelamente con los acelerantes de acción diferida, y son principalmente ácidos orgánicos ó bien derivados nitrados ó sales.

Como ya se ha dicho el acelerante no modifica solo el tiempo de vulcanización sino también la calidad del vulcanizado, así podemos ver que el acelerante se une a la cadena del caucho. Normalmente no se utiliza una mezcla de acelerante, pero en tal caso se ha de tener en cuenta que la actividad de esta mezcla no será ni la suma de todos ellos ni el nivel medio, sino que será otra actividad nueva ya que unos actuarán como retardantes ó acelerantes de los otros.

En la tabla siguiente se pueden observar las características de una goma, en la que lo único que variamos es el sistema acelerante.

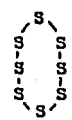
TABLA - 1

HOJA AHUMADA	100	100	100	100	100	100
OXIDO DE ZINC	5	5	5	5	5	5
ACIDO ESTEARICO	1	1	1	1	1	1
AZUFRE	4	3	3	3	3	2.5
DIFENIL-GUANIDINA	1			0.5		
MERCAPTOBENZOTIAZOL		1		0.5		
DISULFURO DE BENZOTIAZILO			1			
DISULFURO DE TETRAMETILTIURAM					0.2	
DIMETILDITIOCARBAMATO DE ZINC						0.2
TIEMPO DE VULCANIZACION (')	16	30	30	10	30	30
TEMPERATURA (°C)	153	143	153	143	125	125
CARGA DE ROTURA Kg/cm^2	240	190	200	270	280	190
ALARGAMIENTO (%)	720	795	850	710	680	815
MODULO 500 %. (Kg/cm^2)	60	32	30	68	44	26

NOTA: Todas las composiciones están dadas en partes en peso.

<u>Proceso de Vulcanización</u> (Reacciones entre el sistema acelerante-Azufre- hidrocarburo caucho).

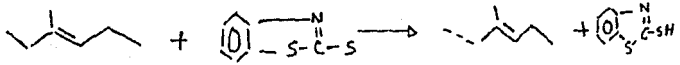
El azufre se encuentra formado por una molécula compuesta por ocho átomos de azufre:



$= S_8$

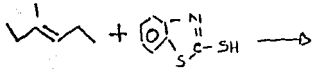
ACELERANTE DEL TIPO MERCAPTO-BENZOTIAZOL.

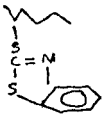
Los (*) representan la valencia libre que queda en cada uno de los azufres (S).



(Nos ha regenerado el acelerante.)

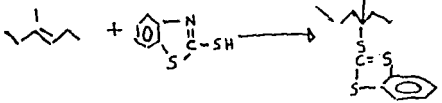
Pero otros procesos tendrán lugar simultáneamente:



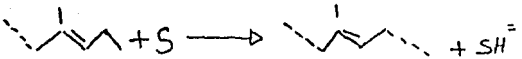


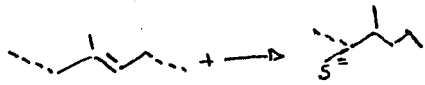
Anillo benzenico ha roto el doble enlace y ha dejado una valencia libre el hidrocarburo.

activado anteriormente ó bien

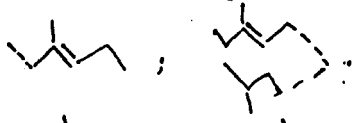


El hidrocarburo que el acelerante ha activado, podrá también actuar sobre el hidrocarburo caucho.



ó bien 

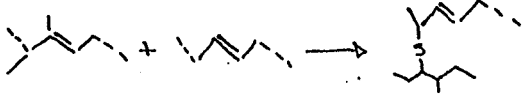
Ahora se presentan varias posibilidades:

a) 

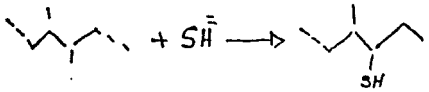
b) 

c) 

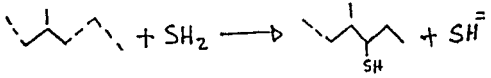
En a), b) y c) nos aparecen puentes sin azufre, con 1 azufre ó con 2, pero sin romper el doble enlace, así en el caso d), en el que rompe un doble enlace y queda una valencia libre para formar otro enlace sencillo.

d) 

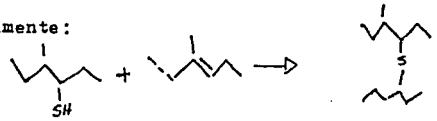
Por otro lado y paralelamente el "SH" podrá también reaccionar con el hidrocarburo.



Y este ácido sulfhídrico que se forma:



Finalmente:



En el que se han roto los dos dobles enlaces y ha aparecido un puente monosulfurado.

b) <u>Vulcanización sin azufre</u>

1°) Cloruro de azufre, como agente vulcanizante, que con la humedad nos da azufre

$$4\ Cl_2S_2 + 4\ H_2O \longrightarrow 8\ ClH + 2SO_2 + 3\ S_2$$

Se utiliza en las llamadas vulcanizaciones en frio.

2°) Azufre naciente

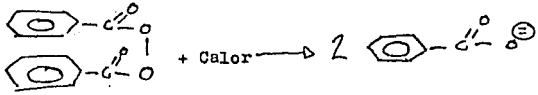
$$2\ SH_2 + SO_2 \longrightarrow 2\ H_2O + S_3 \quad ó \quad S_3 \longrightarrow S_2 + S^o$$

Es difícil de hacer por lo difícil que es controlar los gases.

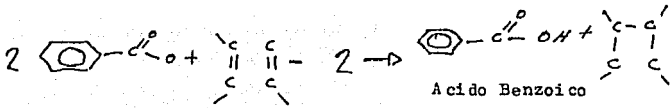
3°.) El Se y el Te, que son del mismo grupo que el azufre en la tabla periódica, servirán también como agentes vulcanizantes.

4°) Compuestos que a la temperatura de vulcanización dan

radicales libres como el peróxido de benzoilo o el llamado dicumilo (DICUP).



Peróxido de Benzoilo



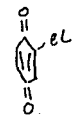
Acido Benzoico

Este sistema será utilizado para vulcanizar cauchos sintéticos saturados como el etileno propileno copolímero.

5°) Sustancias oxidantes de estructura apropiada como:

Quinonas:

ó Quinonas Halogenadas:



Oximas :

3.- Ensayos físicos (Control de Calidad)

El preparador de composiciones ó FORMULADOR está interesado en saber que propiedades físicas resultan de la combinación de los materiales especificados en su fórmula. Debido al gran intervalo de elasticidad de los vulcanizados de caucho y a las condiciones especiales en que se degradan con el uso, se han ideado métodos especiales de ensayo que en muchos aspectos son diferentes de los usados para los metales, la madera y los plásticos duros. La "American Society for Testing Materials", mediante su comité, D - 11, del caucho y materiales similares, publica frecuentemente nuevos y mejores métodos de ensayo para controlar la calidad del caucho y sus productos. Los detalles de muchos de ellos -que se mencionan- se pueden obtener en las publicaciones de la sociedad.

Pruebas de los materiales de caucho no vulcanizados.- Las pruebas del caucho bruto y de las composiciones no vulcanizados concierne principalmente a sus propiedades reológicas, es decir: su reacción frente a las fuerzas que les son impuestas en las operaciones de mezclas, extrusión, calandreado. Generalmente se usan como ensayos de control de varias fases en las operaciones de la fábrica para asegurar la uniformidad de las materias sometidas a elaboración y de los siguientes pasos del proceso en las sucesivas partidas de la producción.

El ensayo de viscosidad de Mooney (ASTM.D,927-49T).- Es hoy el más usado para este fin. Se hace con un rotor de acero dentado que gira a 2 r.p.m. en el caucho sostenido entre dos matrices iguales. El momento de torsión necesario para hacer girar el rotor se marca en el cuadrante de un aparato medidor. La experiencia se realiza generalmente a temperatura elevada y la viscosidad se anota después de este ensayo, la prueba -

más conocida es la del "PLASTOMETRO DE PLACAS PARALELAS" -- (ASTM - D 926-47T), una pequeña bola del material que se -- prueba se coloca entre dos placas lisas, se aplica un peso, y la distancia entre ellas (las placas) se mide después de cierto tiempo, por ejemplo 3 ó 10 min. La distancia entre las placas (que es la altura de la muestra y se expresa en milésimas de pulgada) multiplicada por 100 es el límite de plasticidad.

Un valor elevado denota un material más rígido y más viscoso. La prueba puede realizarse a cualquier temperatura, pero la más usual es de 70°C.

Existen aparatos para medir las características de extusión del caucho bruto (masticado o no masticado) y de las mezclas no vulcanizadas. En el plastómetro Firestone de extrusión el caucho es forzado a través de un orificio en condiciones controladas. La cantidad extrusada es la medida de la plasticidad de extrusión. Hay pequeños extrusores de rosca que -- tienen la ventaja de parecerse a los extrusores de escala completa de las factorías, pero con ellos se regulan mal las presiones y temperaturas. En un ensayo muy usado la matríz es - triangular y en la tira extrusada se examinan la tersura, agudeza de las aristas, etc.

Ensayos de vulcanizados.- Hay dos tipos de pruebas para los - vulcanizados. En el primer tipo, los ensayos se realizan con muestras especialmente moldeadas para este gín ó en muestras cortadas del producto fabricado. En el segundo tipo se verifican en el producto mismo en estado normal ó en máquinas que - simulan ó exageran las condiciones de uso. El estudio siguiente se refiere sólo a las pruebas del primer tipo.

Ensayo de tracción.- Sin duda alguna, el ensayo más importante y el más usado en la industria es el de esfuerzo y

deformación en la tracción. En el ensayo normal, la muestra tiene forma de pesa de gimnasio (halterio), cortada de una lámina con la matríz C. como se describe en el código ASTM.D4L2-49T, y es de un grosor aproximado de 0.075 pulg. (1.9 mm.). La prueba se verifica a la temperatura ordinaria y las mordazas que agarran los extremos de la muestra se separan a razón de 20 pulg./min (50 cm./min.). Por medio de aparatos adecuados, se registran, el peso necesario para alargar la porción limitada de la muestra en cada 100 % de extensión, el alargamiento en la rotura y la resistencia a la tracción en la rotura. El peso necesario para efectuar una elongación determinada, por ejemplo, 300 %, se denomina: MODULO DEL MATERIAL.

El valor del esfuerzo para cada incremento en la elongación y en el punto de rotura es calculado sobra la base de la sección transversal original no sometida a esfuerzo, no sobre la sección obtenida en el momento de efectuar las medidas. Si se supone que no hay cambio de volumen durante el alargamiento se deduce que para una resistencia a la tracción de 210 $Kg./cm^2$ y un alargamiento final de 900 %, el verdadero esfuerzo en el área de la sección transversal en el momento de la rotura es: $210\ 900/100 + 1 = 2\ 100\ Kg./cm^2$

Pruebas no normalizadas se realizan frecuentemente con muestras mayores y menores que la matriz, ó mas gruesas ó más delgadas que 0.075 pulg. (1.9 mm.). Pueden variarse la velocidad de separación de las mordazas y la temperatura del ensayo. Todas estas condiciones afectan a los resultados obtenidos.

Ensayos de envejecimiento.- Para determinar la estabilidad de los vulcanizados ó sea la oxidación, se emplean varios ensayos de envejecimiento acelerado. El más común es el ensayo en la estufa de Geer. ASTM.D573.-48. El ejemplar cortado -

del material se expone a una corriente de aire caliente en una estufa adecuada. La temperatura normal de prueba es de --- 70°C., en que hoy se emplean temperaturas más altas especialmente para los cauchos sintéticos. Después de varios intervalos de exposición, por ejemplo de 2, 7, 28 días, se determinan las propiedades de esfuerzo y deformación y se anotan las variaciones ocurridas con respecto a las propiedades originales.

FORMULACION

Aspectos generales.- En los comienzos de la industria hulera todas las piezas se elaboraban empleando hule natural, sin embargo el desarrollo de los hules sintéticos ha permitido aplicaciones cada vez más sofisticadas en las cuales además de las propiedades de elasticidad y resistencia mecánica es necesario tener resistencia a diferentes medios, tales como: agua, aire, aceites, grasas, ácidos, base, oxígeno, ozono, cloro, así como propiedades especiales, tales como "no manchantes", inodoras, translúcidas, no toxicas, etc.

Esta suma de aplicaciones, aunada al hecho de que un compuesto de hule está formado por el elastómero y una gran variedad de materiales que tienen una función determinante dentro del mismo, ha hecho que la función del formulista se constituya por una parte en ciencia y por otra en un arte. Al formular un compuesto de hule se debe tener en cuenta básicamente los siguientes aspectos:

a) Cubrir una determinada especificación.
b) Que no presente dificultad de proceso.
c) Que sea económica.

Al seleccionar el tipo de elastómero adecuado se puede hacer uso de un solo elastómero ó la combinación de dos ó más de estos aunque es difícil e impráctico el hacer uso de más de tres elastómeros.

Las propiedades mecánicas obtenidas al utilizar el elastómero puro son definitivamente pobres, por lo que es necesario hacer uso de diversos materiales que modifican el comportamiento del compuesto, tanto en sus propiedades físicas como químicas.

1.- Formulación y vulcanización de un compuesto de hule

Con algunas excepciones, el caucho bruto en estado seco tiene pocas aplicaciones comerciales. Para una gran mayoría de usos el caucho debe ser modificado, por lo general añadiendo agentes vulcanizantes y otras sustancias y después vulcanizado. Hay excepciones, como las suelas de crepé para los zapatos, los cementos de los cauchos y las cintas adhesivas.

Con el fin de evitar la repetición de nombres demasiado largos de productos químicos a los cuales se hace referencia frecuentemente en el estudio que sigue, se inserta a continuación una lista de abreviaturas por las que serán denominados. También se dan las abreviaturas usadas para designar distintos grados de negro de humo.

ACELERANTES Y ANTIOXIDANTES

1, 1, 3 Difenilguanidina ..... DPG.
2-Mercaptobenzotiazol ..... MBT.
2,2-Ditio-bis(benzotiazol) ..... MBTS.
Disulfuro de bis (dimetiltiocarbamacílo)... TMTS.
N-Ciclohexil-2-benzotiazolsulfenamida ..... CHBS.
Dimeditiocarbamato de zinc ..... ZnDMDC.
N-Fenil-2naftilamina ..... PBNA.

NEGROS DE HUMO

Negro de canal conductivo ..... C.C.
Negro de canal de difícil proceso ..... HPC.
Negro de canal de proceso medio ..... MPC.
Negro de canal de fácil proceso ..... EPC.
Negro de horno de gran abrasión ..... HAF.
Negro conductivo de horno ..... C.F.
Negro fino de horno ..... F.F.
Negro de horno de abrasión media ..... HMF.

Negro de horno semirreforzado ..... SRF.
Negro térmico fino ..... FT.
Negro térmico medio ..... MT.

Formulaciones básicas.- Los términos goma pura o goma se usan para composiciones de caucho que contienen principalmente materiales esenciales para la vulcanización (sin agentes de refuerzo, de relleno ó de ablandamiento) además del caucho. - La formulación más sencilla de goma sería:

Caucho natural 100
Azufre ..... 8 - 10
(todas las fórmulas expresan partes por peso)

Esta mezcla, después de calentada por unas cuatro horas a 142°C posee una resistencia a la tracción de 210Kg/cm^2 aproximadamente y un alargamiento final de 90 - 100 %. Composiciones como esta se han usado durante muchos años y se emplean todavía para los filamentos de caucho (de lo que están hechas las pelotas de golf). Añadiendo óxidos metálicos, principalmente óxidos de zinc, magnesio, cal y litargirio, se aumenta la velocidad de vulcanización y se obtiene alguna mejora en la resistencia a tracción con reducción del alargamiento en la fractura.

Cuando se desea obtener mezclas con menos azufre y menor tiempo de vulcanización, se emplean aceleradores orgánicos -- combinados con óxidos metálicos. Se prefiere la menor proporción de azufre porque:

1°) Los productos no eflorecen; es decir, el exceso de azufre no combinado después de la combinación (vulcanización) es insuficiente para causar la cristalización en la superficie del artículo.
2°) Menor proporción de azufre mejora el envejecimiento.
3°) En general, se obtienen mejores propiedades físicas.

Una típica composición podría ser la siguiente:

Caucho natural	100
Azufre	3
Oxido de cinc	5
Acelerador (aldehido-amina)	0.3

Esta mezcla, después de vulcanizada a 138°C. posee las propiedades siguientes:

TIEMPO DE VULCANIZACION (min.)	MODULO DE ELASTICIDAD a 500% Kg./cm^2	RESISTENCIA A LA TRACCION (Kg.-cm^2)	ALARGAMIENTO (%)
10	13.4	201.1	915
20	29.5	300.2	805
30	35.2	321.33	765
40	36.6	309.4	775
60	28.1	318.5	835
90	24.6	198.3	855

La mayoría de los aceleradores orgánicos requieren la presencia de ácidos orgánicos grasos para que obren con su máxima eficacia. En el caso anterior, los ácidos que naturalmente existen en el caucho natural sonsuficientemente para este fin. Para comprobar la importancia de la función ácido-graso, la composición precedente fué repetida con caucho que había sido tratado con acetona para eliminar los ácidos-grasos. Esta mezcla, después de vulcanizada, mostró las propiedades siguientes:

TIEMPO DE VULCANIZACION	MODULO DE ELASTICIDAD	RESISTENCIA A LA TRACCION	ALARGAMIENTO
min	a 500% Kg./cm^2	Kg./cm^2	(%)
30	7.0	66.8	925
45	7.7	85.8	940

Los tiazoles, que hoy son los aceleradores más usados, requieren para su máxima eficacia, más cantidad de ácidos grasos que la contenida en el caucho natural.

En la tabla siguiente se comparan materiales producidos con caucho bruto extractado con acetona, el cual no contiene ácidos grasos; caucho bruto normal que contiene sus ácidos grasos naturales, y caucho crudo al que se han añadido dos partes de ácido esteárico por 100 de caucho. El crepé pálido es una forma de caucho natural.

(A)		(B)	(C)
Crepé pálido (extractado)..100		Crepé pálido (sin extractar)100	Crepé pálido (sin extractar)100
Oxido de cinc.	5	5	5
Azufre	3	3	3
MBT.....	0.6	0.6	0.6
Acido esteárico	-	-	2.6

(A)

Tiempo de vulcanización a 138°C min	módulo de elasticidad a 600% Kg./cm^2	Resistencia a la tracción Kg./cm^2	Alargamiento (%)
40	21.8	43.2	695
80	27.1	33.4	640

(B)

Tiempo de vulcanización a 138°C min	Módulo de elasticidad a 600% Kg./cm^2	Resistencia a la tracción Kg./cm^2	Alargamiento (%)
40	25.7	116.7	840
80	25.0	136.4	885

(C)

Tiempo de vulcanización a 139°C min	Módulo de elasticidad a 600% Kg./cm^2	Resistencia a la tracción Kg./cm^2	Alargamiento (%)
40	42.4	201.8	790
80	53.4	213.7	810

Como la cantidad de ácidos grasos naturales varía de una clase de caucho a otra, generalmente se añade más ácido graso a la composición cuando se emplean aceleradores de la clase de los tiazoles.

El otro ingrediente esencial en esta fórmula es el óxido metálico. Aunque a veces se usan los óxidos de calcio, magnesio y de plomo, el óxido de cinc es el más usado de todos. El efecto obtenido al variar la concentración de óxido de cinc en la composición antes estudiada se representa en la figura anterior en este caso una concentración de tres por cien de caucho producen el mismo efecto.

El papel de óxido de zinc no es el mismo en todos los sistemas de vulcanización basados en el azufre, y los datos mostrados en la figura anterior se refiere sólo a los sistemas con aceleradores de tiazol y son estrictamente aplicables sólo para la composición usada. Algunos aceleradores funcionan muy bien sin óxido metálico. Entre estos se encuentran las guanidinas y los aldehido-amina.

Es bien sabido que los vulcanizados de caucho natural se determinan por la acción del tiempo, y ya se mencionó la mejora producida a este respecto por la reducción de la proporción de azufre. Además, adición de ciertos aceleradores orgánicos mejora considerablemente las propiedades de resistencia a la acción del tiempo.

Además de las ventajas al usar pequeñas proporciones de azufre y aceleradores de buen envejecimiento, se emplean antioxidantes que mejoran todavía más la resistencia al deterioro por envejecimiento. El efecto producido por la adición de una parte de alquil-difenilamina (Agerite-Stalite) a las composiciones antes citadas.

Una típica composición acelerada de goma que contenga los diversos rasgos descritos y que pueda ser usada en ciertos productos sería como sigue:

Caucho natural	100
Azufre	2.5
Oxido de cinc	5.0
MBTS	1.0
Acido estedrico	1.0
PBNA	1.0

Esta composición vulcanizada durante 40 minutos a 140°C. posee las siguientes propiedades de esfuerzo y deformación:

Módulo de elasticidad a 500 %	26.4 Kg/cm^2
Módulo de elasticidad a 700 %	112.8 Kg/cm^2
Tracción en la ruptura	227.8 Kg/cm^2
Alargamiento en la ruptura	820 %

Esta fórmula puede servir de base a innumerables variaciones modificando la cantidad de los ingredientes ó añadiendo agentes de refuerzo, relleno, colores, ablandadores y extendedores u otros materiales.

Ciertas modificaciones pueden realizarse sin alteración de los caracteres generales de una fórmula de goma pura. Entre ellas se cuentan las siguientes:

1) Diferentes clases de caucho natural. Por ejemplo: crepé pálido limpio cuando se requiere un color ambarino claro; una clase menos clara cuando el color no es importante ó cuando pueden ser toleradas ciertas impurezas, ó una clase bien masticada, es decir, que posee gran plasticidad, para facilitar la elaboración.

2) Variación de la propoción de azufre. Mayor cantidad de azufre para vulcanizados más rígidos y de más alto módulo, y de menor cantidad de azufre para mejorar el envejecimiento ó disminuir el módulo. Tales modificaciones van acompañadas de ajustes en la cantidad de acelerador.

3) Variación del acelerador. La clase y la cantidad del acelerador puede variarse para aumentar ó disminuir la velocidad de vulcanización. Para obtener un material con menos olor ó sabor, de color más claro ó para obtener módulos elevados, bajos u otros efectos.

4) El ácido graso puede omitirse si el acelerador usado no requiere más ácido graso del que normalmente se halla en el caucho natural.

5) El óxido de zinc puede omitirse si el acelerador usado no lo requiere, o se reduce hasta una parte por cien de caucho, si se desea transparente puede ser sustituido por otro óxido metálico.

6) La clase y cantidad de antioxidante puede variarse según las necesidades del servicio en cuanto al color, al teñido de otros materiales y al envejecimiento.

7) El azufre elemental puede sustituirse por una sustancia como el TMTD que durante la vulcanización proporciona el azufre necesario.

8) Se añaden retardadores para aumentar la seguridad del proceso, lubricantes para facilitar la extrusión ó el calandreado y resinas para mejorar la pegajosidad.

Otras modificaciones de esta fórmula básica, como la adición de pigmentos, ablandadores y otros agentes para producir propiedades específicas no exigen variar las proporciones de los ingredientes, a no ser que la sustancia añadida afecte a la velocidad de vulcanización, pues en este caso ha de ajustarse la proporción de los agentes vulcanizantes.

"FABRICACION DE MEZCLA MAESTRA"
(PROCESO DE MEZCLADO)

1.- Proceso de mezcla

Para fabricar un producto se requiere pesar todos estos materiales (llantas, cámaras principalmente), mezclarlos, dar forma a la mezcla y vulcanizarla.

En algunos casos, ciertos materiales requieren tratamiento previo, por ejemplo: puede ser necesario secar los pigmentos, eliminar el exceso de humedad ó hacerlos pasar a través de un tamiz para quitarles los granos a fin de que tengan la finura adecuada. El caucho puede necesitar el lavado para eliminar a ciertos materiales extraños ó una masticación previa para hacerlos más aceptables a las fases de elaboración subsiguientes.

1.1 Masticación

Probablemente la más importante de todas estas fases preliminares es la masticación del caucho. El caucho natural bruto, tal como es recibido de la plantación, posee elevada viscocidad y para la mayoría de los usos es conveniente disminuirla antes de la operación de la mezcla. Esto se verifica en un molino de rodillos, en un mezclador interno ó en un plastificador helicoidal.

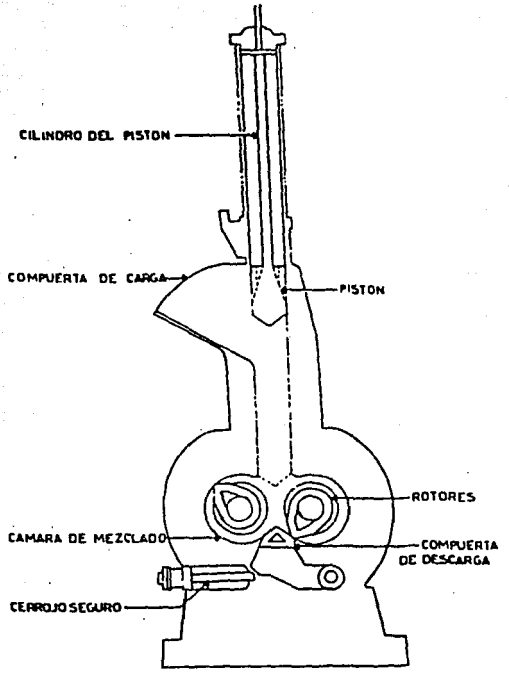
El molino de rodillos consiste básicamente en dos rodillos paralelos horizontales que giran en direcciones opuestas, de forma que el material es trabajado al pasar entre los rodillos. El rodillo posterior gira más de prisa que el delantero en relación de: 1.1/1.0 y 1.5/1.0 . El espacio entre los rodillos puede ser variado a voluntad regulando la posición del delantero. Los rodillos son huecos y por su interior se hace pasar agua fría o caliente ó vapor, para mantener la temperatura deseada durante la operación. Para masticar el caucho,

los rodillos se mantienen a baja temperatura, y el caucho pasa repetidas veces.

Después de varias pasadas, el caucho formará una tela bastante coherente que se adhiere al rodillo delantero para de nuevo pasar entre ellos. Entonces el operador lo trabaja durante un tiempo especificado verificando frecuentemente varios cortes de izquierda a derecha y de derecha a izquierda con objeto de conseguir la mezcla y que el caucho del banco situado delante del molino pase entre los rodillos.

Los cortes se hacen con una cuchilla, comenzando en un extremo del rodillo y enrollando la lámina hasta que el corte haya progresado por lo menos 3/4 de la longitud del rodillo. El rodillo de caucho obtenido se echa sobre el banco y el proceso se repite desde el otro extremo del rodillo. Al final del tiempo prescrito para el masticado, el caucho se separa en forma de grandes láminas y se enfría antes de apilarlo sobre los polines.

En la figura siguiente se muestra la vista interior del mezclador Banbury, donde se ve el mecanismo de impulsión y una parte de la cámara de mezcla. Las paletas de mezcla no son de sección transversal uniforme en toda su longitud, sino que están diseñadas para forzar el material de un extremo a otro alternativamente en ambas direcciones hasta conseguir la mezcla completa. Los dos rotores giran a distintas velocidades. Agua ó vapor pueden circular a través de los rotores huecos, y puesto que el casco tiene doble pared, puede realizarse la refrigeración ó el calentamiento. Se carga el caucho directamente en la cámara de mezcla, se baja el pistón para ejercer presión sobre la carga y se efectúa la masticación en el tiempo prescrito. Después del período de masticación, el caucho es descargado por una puerta situada en el fondo del mezclador en un molino de rodillos (dos), que realiza el lamina



CONTROL DE PROCESO EN LA IND HULERA

DIAGRAMA DE BAMBURY

do del caucho. El plastificador de "Gordon" está ideado para la fase de masticación previa. Es una gran máquina helicoidal que recibe el caucho por una tolva, realiza la masticación -- por el tornillo sin fín y expulsa el caucho por extrusión en forma de un cilindro que es cortado por una cuchilla y abierto en una cinta contigua; ésta se enfría y se corta en pequeños trozos, que se apilan sobre los polines. El tornillo sin fín del plastificador es hueco para hacer circular el agua o vapor, y el cilindro está revestido de camisa para el mismo fín. Cuando se desea un caucho muy blando, se le hace pasar - dos o más veces por la máquina. Si se quiere acelerar el proceso de masticar el caucho en un mezclador interno ó en un -- plastificador, se añade un plastificante químico. Los plastificantes obran mejor a elevadas temperaturas desarrolladas en estos dos procesos y por esta razón no se usan en la masticación molino abierto a baja temperatura. En los métodos descritos anteriormente conviene mezclar cauchos de diferentes partidas de la misma clase ó clases de calidad similar con objeto de reducir al mínimo las diferencias que por varias razo-- nes ocurren en los materiales empleados.

El GR - S , se produce normalmente con una viscosidad -- bastante más baja que la del caucho natural. Algunos fabricantes prefieren usarlo directamente sin masticación previa, o-- tros prefieren ablandarlos por uno de los métodos descritos. El GR - L (caucho Butílico), los cauchos nitrílicos y los -- Neoprenos no suelen someterse a la premasticación.

1.2 Mezcla

La operación de la mezcla es una de las más importantes fases por la que deben pasar las composiciones de caucho. Las fases del proceso subsiguiente a la mezcla dependen de que esta sea suficiente y uniforme, la calidad del producto final - está directamente influida por la clase de mezcla realizada.

Los fines de la operación de mezcla son:

a) Hacer una composición uniforme de todos los componentes.
b) Hacer una buena dispersión de los pigmentos evitando los grumos.
c) Producir lotes consecutivos del mismo grado de dispersión y viscosidad.

Todas las operaciones de mezcla en la actualidad son operaciones intermitentes.

El primer paso es pesar los ingredientes prescritos por el formulista.

El tamaño de cada lote variará según la capacidad de los aparatos de mezcla o el carácter del lote.

Para un molino de 84 pulg. (diámetro de los rodillos --- 24 - 26 pulg.) el peso de la partida puede variar de 150 - 300 libras para un mezclador interno de tamaño grande, el peso del lote puede ser de 1000 lb. o más.

Para cada composición existe un procedimiento de mezcla conforme al carácter de la composición y al equipo de mezcla. Para una composición simple, la experiencia da una buena indicación del procedimiento a utilizar y es posible predecir dentro de límites bastante estrechos cual será el procedimiento óptimo. Para composiciones más complejas, puede ser necesario algún estudio por medio de varias mezclas de prueba para obtener el procedimiento más satisfactorio.

A continuación se dan procedimientos de mezcla típicos - para el molino abierto de 84 pulg. y el No. 27 de Banbury con l siguiente composición de caucho natural:

Láminas ahumadas (previamente masticadas durante 15 min. en el molino frío)	100
Oxido de zinc	5
Acido esteárico	1.5
Negro SRF	50
Ablandador de petróleo	5
M.B.T.	0.6
Azufre	3
P.BN.A.	1

Nota: Todas las composiciones se dan en Partes en peso.

Mezcla en molinos.- Para un molino de 84 pulg. (rodillos de 24 pulg. de diámetro), el peso de la partida es de 200 lb. (90 Kg.). El molino se ajusta a 1/4 de pulg. (6.4 mm.) de espacio entre los rodillos, por los cuales se hace circular agua fría durante la operación. Después de varias pasadas, el caucho se convierte en una lámina que se adhiere al rodillo delantero y sigue pasando entre los rodillos. Se corta la lámina a lo largo del rodillo en una y otra dirección dos veces para asegurar una buena mezcla con el caucho que está en el banco. Se añaden el óxido de zinc, el PBNA, el ácido estárico y el MBT. De nuevo se corta el caucho dos veces para distribuir estos materiales en la mezcla. En este momento han transcurrido aproximadamente 8 minutos.

Se abre un poco el molino y se añaden a la masa lenta y alternativamente el negro de humo y el aceite. Esto da por resultado mayor concentración de negro de humo en la porción de caucho cercana al centro del molino. Para prevenir una excesiva carga en el centro, durante esta operación se cortan varias veces tiras de caucho de los extremos de los rodillos y se echan en el banco. Cuando todo el negro de humo se ha mezclado y no hay visible negro de humo libre, se corta el caucho en una y otra dirección dos veces. La incorporación del negro de

humo y el aceite requiere unos 11 minutos, lo que hace un total de tiempo transcurrido de 19 minutos.

Puesto que el volumen total de la partida ha aumentado apreciablemente por la adición del negro de humo y del aceite, la masa acumulada en el banco es mayor que al principio de la mezcla. Se aparta una porción de ella para reducir la masa a un tamaño que puede circular y no permanecer inactivados. Se añade ahora el azufre, pasados tres minutos de operación, se añade de nuevo el material que fue separado y toda la masa es cortada seis veces desde un extremo y otras tantas desde el otro, hasta lograr una mezcla completa. Entonces, el operador separa la masa que está en forma de lámina de 0.90x2.40 m aproximadamente, y la sumerge en agua que contiene esteatita (talco) en suspensión; se cuelga a secar y enfriarse se echa sobre bastidores cubiertos de rejulla, donde se enfría; se espolvorean las láminas con esteatita y se apilan sobre los polines. Esta operación requiere unos 8 minutos, lo que hace un total de 30 minutos para la partida.

El primer objetivo de la mezcla, la uniformidad del producto, se consigue en el mezclador de rodillos cortando la masa en ambas direcciones. En el Banbury, la mezcla homogénea se obtiene por la acción de los rotores más la subsiguiente operación del laminado.

El segundo objetivo, la buena dispersión de pigmento, se realiza en ambos métodos sometiendo el caucho y el pigmento a la acción de grandes fuerzas cortantes.

En los mezcladores abiertos esto ocurre por la diferencia de velocidad angular entre los rodillos y por la acción de las fuerzas tangenciales de los rodillos giratorios sobre la masa, y en el Banbury por las fuerzas tangenciales sobre el caucho y el pigmento entre el rotor y la caja. La consecusión de bue-

na dispersión, sobre todo en los negro de carbón mas finos, es quizá el objetivo más fino y difícil de conseguir. Las mejores dispersiones del negro de humo se obtienen añadiendo el pigmento al caucho relativamente tenaz y viscoso, pero no tan tenaz como para causar desmenusamiento en un mezclador interno o producir rugosidad o agujeros en las láminas en un mezclador de rodillos. En un mezclador de rodillos la lámina de caucho debe estar desprovista de agujeros, el negro de humo se añade parejamente y cerca del centro de la misma, el tamaño de la masa en el banco debe ser pequeño y el laminado y corte del caucho no debe ser realizado mientras exista negro visible en la masa. Por último, no deben añadirse ablandadores resinosos con el negro de humo en el mezclador de rodillos ni en el Banbury.

El tercer objetivo, o sea la consecusión de viscosidad uniforme de una partida a otra de la misma composición, requiere la regulación de los factores que influyen en la disgregación del caucho durante la mezcla. Estos factores son el tiempo, la temperatura (en el caso del mezclador de rodillos) y el espacio libre entre los rodillos.

2.- Conformación

En la fabricación de la mayoría de los productos de caucho, los materiales mezclados deben recibir alguna forma para la vulcanización. En algunos casos, las placas que salen del mezclador no necesitan más proceso que el de cortar de ellas discos o piezas rectangulares que facilitan la carga en el molde; pero en general, la masa debe tomar una forma aceptable para su ulterior fabricación. Los más importantes de estos procesos son el calandreado y la extrusión, de menor importancia es la fabricación de cementos.

2.1 Calandreado

Esta operación tiene por objeto preparar el material en láminas relativamente delgadas, extenderlo sobre telas o incluirlo en telas por fricción. La calandria más sencilla consta de tres rodillos paralelos colocados uno sobre otro. Los intervalos entre los rodillos son ajustables. Los rodillos son huecos, pueden ser calentados o enfriados y moverse a distintas velocidades. Además la velocidad del cilindro superior e inferior puede ser la misma que la del central, que suele girar con velocidad menor.

En la mayoría de los casos, la preparación de material laminado se verifica acumulando múltiples capas finas. Por ejemplo: ocho o diez hojas de goma natural de caucho pueden hacer un grosor total de 1/16 pulg. (1.6 mm.) . En la figura siguiente se muestra un dispositivo por medio del cual se consigue esto.

Se usan capas delgadas porque reducen al mínimo la formación de vejigas y otros defectos en la lámina prensada. En general, cuanto mayor es la pigmentación del caucho más gruesa puede ser la hoja individual.

Para impregnar de caucho las telas por friccionamiento, estas se colocan entre los dos rodillos superiores en contacto con el más bajo; el rodillo medio gira con la mayor rapidez que el inferior y de ésta forma introduce en la tela el caucho adherido al rodillo. La operación de recubrimiento de telas es esencialmente semejante al calandreado de las láminas, salvo que la capa de caucho es comprimida entre los dos rodillos inferiores para adherirla a la tela. Por lo general, la tela se fricciona con el caucho antes de revestirla.

Para todas las operaciones de calandreado, es preciso regular las temperaturas, velocidades y razón de los rodillos -

conforme a las propiedades de la composición y a la operación que se realiza. Las temperaturas de los rodillos pueden fluctuar entre la temperatura ordinaria y 93°C. Las mejores condiciones de temperatura para el laminado fluctúan entre la menor temperatura, en que no se forman grietas de frío en la superficie, y la temperatura de mayor adherencia. Para el friccionamiento, la temperatura del rodillo medio debe ser lo suficientemente elevada (93 - 121°C.), para que el material se adhiera a la superficie del cilindro.

En todos los casos, para una mejor realización, los materiales deben ser disgregados en un mezclador calentado (generalmente un mezclador de dos rodillos) y las porciones del material caliente suministradas de manera regular al banco de la calandria.

2.2 Extrusión

Una máquina de estiramiento por presión, consta principalmente de un tornillo sin fin movido por energía eléctrica, que gira en un cilindro fijo.

Una tolva para suministrar los materiales previamente calentados está situada cerca del extremo que recibe la impulsión. En el otro extremo hay un cabezal que lleva la matriz que produce la sección transversal deseada. El cilindro está provisto de camisa de calentamiento; en los tornillos de gran tamaño, la sección central está perforada con el mismo objeto.

2.3 Cementos de caucho.

Una solución de una composición mixta en un disolvente orgánico que permita realizar fácilmente ciertas operaciones de moldeado. Por ejemplo, si se aplica a una tela un revestimiento de menor grosor que el que puede aplicarse con la ca-

landria, puede hacerse extendiendo sobre ella una capa de cemento de consistencia deseada y adecuada.

Esta es una de las operaciones en la industria del caucho conocida hace mucho tiempo y fué usada incluso antes del descubrimiento de la vulcanización (1839). El cemento o la pasta puede hacerse de la consistencia deseada, lo que permite depositar una membrana del grosor requerido. De ordinario se aplican varias capas. Por medio de inmersiones sucesivas puede -- ser obtenido el grosor requerido. El producto es vulcanizado después sobre un soporte y finalmente se le separa del mismo.

Los cementos se usan mucho en operaciones donde es necesario obtener una estructura compuesta de varios elementos -- que deben conservarse unidos por la acción adhesiva del cemento hasta que se ejecuta la vulcanización.

Ensamblaje.- Después del moldeado de una composición por ca-- landreado, extrusión o depósito de un cemento, algunos objetos se vulcanizan directamente sin más tratamiento, por ejemplo, material laminado para empaquetamiento de asiento, caucho en láminas de las que pueden cortarse hilos después de la vulcanización, tubos formados por extrusión y listones de ventanas de forma irregular, no necesitan más tratamiento antes de la vulcanización.

La fabricación de llantas requiere los materiales:

a) Una banda de rodadura del contorno adecuado formado por extrusión.
b) Tela de cuerda de calidad superior o tela de cuerda e- sin trama, recubierta por ambos lados con caucho en la calandria y cortado de un largo rollo en una dirección que forma un ángulo aproximadamente de 40°, con la dirección longitudinal de aquel. Estas tiras de corte -- sesgado se empalman formando una faja continua de la

anchura requerida.

c) Dos talones de neumático fabricados con alambre aislado con una composición de caucho duro o semiduro. El talón está recubierto por una o más capas de tejido impregnado por fricción.

La llanta se construye en un tambor giratorio plegable. Se aplica una capa de cuerdas cortadas oblicuamente y se alisa en contacto con el tambor; los extremos se empalman con una solapa de anchura equivalente a la de dos cuerdas. Una segunda capa se aplica a la primera formando un ángulo aproximadamente de 90° con respecto a la primera. Entonces se aplican los talones previamente montados, y las dos hojas de cuerda en el tambor se doblan sobre el talón. Se aplican dos hojas más, como antes, con direcciones alternadas y sus bordes se doblan sobre el talón.

La banda de rodadura formada por extrusión, cortada de longitud conveniente y cementados los extremos uno con otro, se aplica y se alisa con el tambor. Para darle una forma adecuada para el moldeo, se inserta una bolsa de curación (hecha de caucho), a la que se adapta la llanta para obtener una sección transversal. Después de esto, la llanta está preparada para la vulcanización.

Al realizar estas operaciones, las partes componentes se mantienen en su posición gracias a la glutinosidad del caucho, propiedad por la que dos capas de material que han sido prensadas siguen juntas sin que sea posible separarlas en ninguna posición de la superficie de contacto y sin que se adhiera a los rodillos de los molinos mezcladores ni a los de la calandria.

Vulcanización.- Es la operación que convierte una composición mixta esencialmente plástica es esencialmente elástica.

SERIE DE PRUEBAS ESPECIFICAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA HULERA LLANTERA.

(METODOS DE PRUEBA ESPECIFICOS.)

TITULO.-

FINURA EN MALLA

La finura es el grado de pulverización, determinado por la combinación de los diferentes tamaños de partículas, contenidas en un material molido en forma controlada.

OBJETIVO.-

Determinar el porcentaje de material retenido que por su tamaño de partícula pasa a través de una malla dada en húmedo.

EQUIPO.-

- Mallas estandar (tejido, constituidos de alambre de calibre especificado y espaciados en urdimbre y trama a separaciones definidas).
- Balanza granataria.
- Balanza analítica.
- Charolas de aluminio.
- Brocha de cerda suave.
- Horno de calentamiento.

PROCEDIMIENTO.-

- Tomar muestra de 100 gr. y poner en el tamíz STD de malla (200 y 325).
- Empezar el flujo de agua usando una manguera, agregando la muestra previamente pesada poco a poco para evitar que la malla se tapone pasando una brocha de 3.8 mm. sobre la muestra.
- Usar una corriente moderada de agua para lavar los residuos que queden adheridos a los lados, continuar los lavados con brocha hasta que el agua que pasa esté completamente clara.

- Poner la criba en una estufa de secado y secar durante 1 hr. a 105 °C.
- Pasar el residuo a una charola de aluminio y pesar aproximando hasta milésimas de gramo.

OBSERVACIONES.-

Los movimientos deberán ser suaves sin presionar.

CALCULOS.-

FINURA A TRAVES DE MALLA (200 y/o 325) =

$$= \frac{(\text{PESO MUESTRA} - \text{RESIDUO}) \times 100}{(\text{PESO DE MUESTRA})}$$

TITULO.-

PUNTO DE FUSION

Es la temperatura a la cual un material sólido pasa al estado líquido por medio de la aplicación del calor.

EQUIPO.-

- Aparato Fisher-Johns
- Espátula
- Pinzas de laboratorio
- Cubre objetos particulares de 18 mm.

PROCEDIMIENTO.-

Operación del aparato Fisher-Johns.

1°) Accionar el switch principal de encendido de Off a On.

2°) Para seleccionar el rango a utilizar con cada muestra se seguirá el siguiente órden basado en el punto de fusión dado por cada proveedor. Para un punto de fusión:

$X = 50°C$ Rango 10
$50°C = X = 100°C$ Rango 20
$X = 100°C$ Rango 30

3°) Por medio de una lupa adaptada al cabezal de calentamiento se observa el momento exacto del cambio de estado.

4°) Una pequeña muestra es colocada por medio de la espatula entre dos cubre objetos circulares los cuales deberán de ser oprimidos suavemente y ser colocados estos en el centro de la placa de calentamiento.

5°) Una vez determinado el punto de fusión se lava con -- solvente los cubre-objetos para ser utilizados nuevamente.

OBSERVACIONES.-

Al accionar el switch de encendido se enciende automáticamente la luz de enfoque.

La temperatura se cuantifica con el termómetro de vidrio adaptado al cabezal.

Deberá de procurarse que el material esté finamente dividido para apreciar mejor el cambio.

TITULO.-

DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD DEL OXIDO DE MAGNESIO

OBJETIVO.-

- Tres matraces esmerilados con tapón de vidrio.
- Una balanza analítica.
- Tres matraces de Erlenmayer de 250 ml.
- Un matraz aforado de 100 ml.
- Dos pipetas volumétricas 20 y 30 ml.
- Una bureta de 50 ml.

SUSTANCIAS.-

- Oxido de magnesio (MgO)
- Solución de Yodo 0.1 N. En tetracloruro de carbono (I_2/CCl_4)
- Solución de Yoduro de potasio 0.03 N. En Etanol al 75 % , (KI , H_2O) 25 % /(ETOH) 75 %
- Solución de Tiosulfato de Sodio 0.05 N. ($Na_2S_2O_3$)

PROCEDIMIENTO.-

- Pesar 2 gramos de Oxido de Magnesio con aproximación de ± 0.10 mg.
- Poner en un matraz de 200 ml. con tapón de vidrio limpio y seco.
- Agregar 100 ± 2 ml. de una solución 0.1 N de yodo en tetracloruro de carbono. Este debe estar libre de trazas de azufre o disulfuro.
- Tapar el matraz y agitar fuertemente por espacio de 30 minutos (el control de la temperatura no es muy importante).
- Dejar reposar 5 minutos y tomar una alicuota con una pipeta volumétrica de 20 ml. de la solución clara y pa-

sar a un matraz de Erlenmayer de 250 ml. Que a su vez contiene 30 ml. de una solución de 0.03 N. de yoduro de Potasio en etanol al 75 %.

OBSSRVACIONES.-

Para evitar que el azufre reaccione con el yodo, la solución de yodo debe decantarse para evitar MgO en suspensión.

TITULO.-

CONTENIDO DE CENIZAS EN LOS HULES SINTETICOS

OBJETIVOS.-

Determinar la materia mineral fija, que queda como residuo de los hules sintéticos, después de calcinar los especímenes en una mufla a temperatura controlada.

EQUIPO.-

- Balanza analítica capaz de pesar con aproximación de 0.1 mg.
- Crisol de porcelana ó sílice con capacidad mínima de 25 ml. por cada gramo de muestra de especímen utilizado.
- Mufla provista de controles para mantener una temperatura de 550 ± 25° C.
- Desecador.
- Papel filtro de 150 mm. de diámetro, de contenido de cenizas conocido.

PROCEDIMIENTO.-

- Pesar una porción de entre 3-5 gr. de la muestra seca y laminada a un espesor no mayor de 0.5 mm. en un crisol de peso conocido que previamente haya sido puesto a peso constante por calentamiento a 550 ± 25 °C. Para evitar proyecciones que alteren los resultados, es recomendable quemar previamente especímen contenido en el crisol, con un mechero, evitando que el hule se inflame.
- Introducir el crisol a la mufla, previamente calentada a una temperatura de 550 ± 25°C. dejando permane--

cer en la mufla hasta calcinación total (peso constante).

- Una vez completa la calcinación, enfriar el crisol en un desecador y pesar con una aproximación de 0.1 mg.

OBSERVACIONES.-

En el caso de hules que tienden a hervir durante la calcinación, debe de envolverse la muestra totalmente en el papel filtro antes de calcinarla.

TITULO.-

CONTENIDO DE CENIZAS

OBJETIVOS.-

Con éste método se determina el contenido de cenizas de la materia prima utilizada en la industria hulera exceptuando el negro de humo y los aceites.

EQUIPO.-

- Mufla, capaz de mantener la temperatura de prueba 900 °C.
- Crisol de prueba (porcelana) forma alta, tipo O, de 30 ml. de capacidad.
- Balanza analítica, con precisión de o.1 mg.
- Mechero de Bunsen.
- Desecador.

PROCEDIMIENTO.-

- Calcinar el crisol en la mufla a 900°C durante 1 Hr.
- Dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar con aproximación de ± 0.1 mg.
- Pesar en el crisol alrededor de 1-5 gramos de muestra con aproximadamente ± 0.1 mg.
- Se quema la materia orgánica en un mechero, posteriormente se coloca en la mufla a una temperatura de 900 °C y se deja por un espacio de dos horas.
- Se saca el crisol y se enfría a temperatura ambiente en un desecador y se pesa con aproximadamente ± 0.1 mg.

OBSERVACIONES.-

El crisol conteniendo la muestra no deberá de pegar a las paredes de la mufla. La quema de la materia orgánica deberá hacerse bajo una campana de extracción de gases.

CALCULOS.-

$$\% \text{ DE CENIZAS} = \frac{(C - A)}{(B - A)} \times 100$$

donde:

A = MASA DEL CRISOL EN GRAMOS.
B = " " " Y MUESTRA EN GRAMOS.
C = " " " " CENIZAS

TITULO.-

CONTENIDO DE CENIZAS EN NEGRO DE HUMO

Es el residuo, integrado por materia inorgánica no volátil que permanece en el crisol, después de haber sometido el especímen a las condiciones de prueba.

OBJETIVO.-

Este método cubre la determinación de contenido de cenizas del Negro de Humo.

EQUIPO.-

- Mufla capaz de mantener la temperatura de ± 25°C a 550 °C.
- Crisol de porcelana, forma alta, tipo "O", diámetro 35 mm., altura 30 mm. con tapa.
- Balanza analítica teniendo sensibilidad de 0.1 mg.
- Desecador.
- Horno de calentamiento.

PROCEDIMIENTO.-

- Calcinar el crisol con su tapa, en la mufla durante 1 hr a 550 ± 25°C.
- Dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar con aproximación de 0.1 mg.
- Pesar el crisol, alrededor de dos gramos de negro de humo previamente secado.
- Calcinar el contenido dentro de la mufla a una temperatura de 550 ± 25°C, durante 16 horas.
- Colocar la tapa del crisol dentro de la mufla, trasladar el conjunto al horno y mantenerlo a 125 °C durante 15 minutos para permitir que caliente gradualmente

- Colocar el conjunto en el desecador, dejar enfriar hasta temperatura ambiente y pesar con aproximación de 0.1 mg.

OBSERVACIONES.-

El Negro de Humo se seca previamente en un horno por espacio de 1 hora a 105 °C.

El crisol debe permanecer destapado durante el tiempo de calcinación con su tapa colocada a un lado para permitir la eliminación de materia volátil.

Mantener la puerta de la mufla ligeramente abierta (cerca de 5 mm.) para permitir la entrada de aire y activar la combustión del Negro de Humo.

Mantener el crisol tapado para evitar pérdidas de cenizas debidas a corrientes de aire.

PROCEDIMIENTO.-

Repetir el procedimiento sobre una segunda muestra.

OBSERVACIONES.-

NINGUNA

CALCULOS.-

$$\text{CONTENIDO DE CENIZAS}(\%) = \frac{(C - A)\ 100}{(B - A)}$$

donde:

A = MASA DEL CRISOL CON TAPA EN GRAMOS
B = " " " " " Y MUESTRA EN GRAMOS
C = " " " " " Y CENIZAS " "

TITULO.-

DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL NEGRO DE HUMO

OBJETIVO.-

Este método cubre la determinación de las pérdidas por calentamiento del Negro de Humo a 125 °C, principalmente humedad, aunque también trazas de otras materias volátiles.

EQUIPO.-

- Pesa-filtro de 30 mm. de altura, de 60 mm. de diámetro provistos de tapa.
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg.
- Desecador.
- Horno de calentamiento, capaz de regular la temperatura de 125 ± 1 °C.

PROCEDIMIENTO.-

- Poner a peso constante el pesa-filtro con su tapa a un lado de este, en el horno a 125 °C, durante un mínimo de 30 minutos, enfriamiento en el desecador y pesarlo con aproximación de 0.1 mg.
- Pesar en el pesa-filtro, con aproximación de 0.1 mg., alrededor de 2 gr. de muestra.
- Calentar el pesa-filtro con el especímen y su tapa a un lado en el horno durante una hora a 125 °C.
- Tapar el pesa-filtro, sacarlo del horno y permitir que se enfríe dentro del desecador hasta temperatura ambiente.
- Pesar el pesa-filtro con el especímen, con aproximación de 0.1 mg.

OBSERVACIONES.-

El pesa-filtro al igual que su tapa, deberán estar perfectamente limpios, tapar el pesa-filtro y sacarlo del horno.

Remover la tapa una vez de dentro del desecador.

CALCULOS.-

$$\text{Pérdidas por calentamiento}(\%) = \frac{(B - C)}{(B - A)} \times 100$$

donde:

A = Peso del pesa-filtro vacío con tapa (en gramos)
B = Peso del pesa-filtro con tapa y especímen antes del calentamiento, en gramos.
C = Peso del pesa-filtro con tapa y especímen después del calentamiento, en gramos.

TITULO.-

DETERMINACION DEL % DE HUMEDAD Y MATERIAS VOLATILES

OBJETIVO.-

Determinar las pérdidas de peso que sufre el producto al ser calentado debido a su contenido de humedad.

EQUIPO.-

- Pesa-filtro.
- Desecador.
- Balanza analítica.
- Horno de calentamiento.

PROCEDIMIENTO.-

- Pesar una muestra de 5-10 gramos en un pesa-filtro previamente tarado en una balanza analítica, y colocar éste en el horno a una temperatura de 105 °C ± 3 °C durante dos horas.
- Sacar el pesa-filtro del horno permitiendo que se enfríe dentro del desecador durante un tiempo de 20 minutos.
- Una vez frío pesar el pesa-filtro con la muestra.

OBSERVACIONES.-

El pesa-filtro deberá de estar previamente puesto a peso constante (30 min. a 105 °C) y ser enfriado en el desecador.

CALCULOS.-

$$\% \text{ DE HUMEDAD} = \frac{\text{PESO DESPUES DEL CALENTAMIENTO X 100}}{\text{PESO DE LA MUESTRA ORIGINAL}}$$

$$\% \text{ DE HUMEDAD} = \frac{(A - B)\ 100}{(A - C)}$$

donde:

A = Peso del pesa-filtro con la muestra original antes del calentamiento en gramos.

B = Peso del pesa-filtro con la muestra, después del calentamiento en gramos.

C = Peso del pesa-filtro solo, en gramos.

TITULO.-

ESPECTROFOTOMETRIA EN INFRA-ROJO

OBJETIVO.-

A toda materia prima susceptible de disolverse en un solvente apropiado, es práctico efectuar ésta prueba, cuya finalidad es identificar a la materia prima y clasificar el grado de impurezas de la misma, esto se logra mediante la comparación del espectro Patrón. La materia prima sujeta a análisis puede ser sólida ó líquida, dependiendo del estado físico se aplicará el procedimiento específico.

EQUIPO.-

- Espectrofotómetro infra-rojo marca PERKIN ELMER MODELO 727 B.
- Balanza analítica.
- Matraces Erlenmayer de 250 ml.
- Vasos de precipitado de 50 ml.
- Papel filtro Whatman I de 11 cm. de diámetro.
- Jeringas de 1 c.c.

INSTRUCCIONES DE OPERACION DEL ESPECTROFOTOMETRO.-

1.- Encender y apagar el equipo con el botón power.
2.- Dejar calentar el equipo por espacio de media hora.
3.- La calibración del equipo será de la forma siguiente:
   a) Correr manualmente el portagráficas al rango de 3,000 cm^{-2}b .
   b) Girar el botón lateral pegado a la celda de la muestra hasta hacer coincidir la pluma con la lectura 90 de la escala.
   c) Oprimir el botón AUTO-CHEK GAIN, que se encuentra en la parte superior del aparato, con lo cual la

pluma debe marcar 80. Si no lo hace, se gira el botón hacia la derecha ó izquierda hasta coincidir la pluma en 80.

d) Tapar parcial y lentamente la celda de la muestra con la mano, hasta hacer que la pluma marque 50, en este punto se corre la mano rápidamente para tapar las dos celdas totalmente. La pluma debe moverse rápidamente hacia el cero. En caso de no coincidir con el cero, se deja calentar el aparato por diez minutos más y se repite el procedimiento desde el inciso b. Una vez obtenido el cero, se regresa la pluma nuevamente a la marca 100, utilizando el botón lateral referido en el paso (b). El instrumento está calibrado.

4.- Se coloca la celda con la muestra, del lado próximo al operador y la celda con la referencia del opuesto.

5.- Colocar la gráfica en el aparato, corriéndose manualmente el portagráficas para hacer coincidir la plumilla con el extremo izquierdo de la gráfica -------- (FRECUENCIA 4,000 cm^{-2}).

6.- Colocar el rango en la posición SURVEY.

7.- Se oprime el botón "SCAN" para obtener el espectro.

8.- Al terminar el espectro, el aparato para automáticamente. Comenzar nuevamente en el punto (4).

PROCEDIMIENTO.-

- Pesar 1 gr. de muestra exactamente, en un matraz, adicionar 10 ml. de solvente que tapará el matraz y agitar hasta la disolución total.
- Mientras se reposa la solución se limpia la celda del espectro y se arma con el separador adecuado.
- Usar para todos los análisis un separador de 0.025 mm. Excepto en los aceites viscosos se usará separador de

0. 200 mm.

- Se filtrará la solución usando un vaso de precipitado y papel filtro.
- Se procede a cargar la jeringa e inyectar la muestra, cuidando no derramarla sobre la celda.
- Se prepara de igual forma la celda de referencia en la cual se inyecta solvente puro.
- Montar ambas celdas en el espectrofotómetro e iniciar el manejo del equipo de acuerdo a las instrucciones antes descritas.
- Comparar la gráfica resultante con la gráfica patrón de la sustancia de que se trata y determinar si se autoriza o rechaza.

OBSERVACIONES.-

Previamente se selecciona el solvente (tolueno, Xileno, Benceno, etc.). Donde la muestra sólida es soluble.

La limpieza se hará con cloruro de metileno. El separador debe ser manejado conpinzas para evitar que se afecte el calibre.

Se deberá de utilizar jeringas diferentes y limpias, para evitar problemas de contaminación en las celdas.

TITULO.-

NUMERO DE ABSORCION DE YODO EN NEGRO DE HUMO

ALCANCE.-

Este método cubre la detemínación del número de yodo en Negro de Humo.

NOTA: Este método no se considera adecuado para la caracterización de Negro de Humo con un contenido mayor al 1.5 % de materia volátil ó mayor de 0.25 % de extracción de benzeno.

EQUIPO.-

- Tubo de ensayo de vidrio tipo "opticlear" con tapones de polietileno de 45 ml. de capacidad.
- Estufa de convección por gravedad capaz de regular la temperatura en ± 1 °C.
- Bureta de 25 ml. con cero automático y graduada en 0.10 ml. clase A de acuerdo a los estándares de la circular 602 NBS.
- Agitador mecánico, capaz de desarrollar 420 golpes/minutos.
- Centrífuga, capaz de desarrollar arriba de 1,000 rpm.

REACTIVOS.-

Pureza de reactivos

Se deberán usar substancias químicas grado analítico para todas las pruebas. A menos de que se indique otra cosa, todos los reactivos cumplirán con las especificaciones del comité de reactivos de la AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, cuando tales especificaciones se encuentran disponibles. Otros grados pueden ser usados, siempre y cuando sean lo suficientemente puros para permitir a su uso sin disminuir la precisión del mé

todo.

Pureza del agua

A menos que se indique lo contrario, el agua deberá cumplir con las especificaciones D - 1193 del A.S.T.M.

- Yodo, solución estandar (o.0473 N.) .- Disuelva 6.0 gramos de yodo pesado con una exactitud de 0.1 mg. y 57.0 gr. de yoduro de potasio (KI) en 30 ml. de agua usando para ello un matraz volumétrico de 1 lt., diluya ----- 1,000 ml. con agua una vez hecha la solución.
- Tiosulfato de Sodio estandar (o.0394 N.) .- Disuelva - 9.7810 de tiosulfato de sodio pentahidratado (NaS_2O_3)5-H_2O, pesado con una exactitud de 0.1 mg. en aproximadamente 500 ml. de agua, usando para ello un matraz volumétrico de 1 lt. Adicione 5 ml. de alcohol N-amílico yy diluya a 1,000 ml. con agua.
- Solución indicadora de almidón.- Agregar 2.5 gr. de almidón y 2 mg. de yoduro de mercurio en 25 ml. de agua usando un vaso de precipitado de 50 ml. Adicionarlo inmediatamente a 1 lt. de agua hirviendo con agitación. Hervir durante 5 minutos como mínimo para asegurar una solución adecuada antes de almacenarla en un frasco.

PROCEDIMIENTO.-

- Seque una muestra adecuada de Negro de Humo de acuerdo con el método D - 1509 de la A.S.T.M. "Método para las pérdidas por calentamiento del Negro de Humo" .
- Pese 0.50 gr. de la muestra seca en un tubo de ensayo de vidrio;para números de adsorción de yodo de los grados N-110 y mayores.; Pese 0.25 gr. en el tubo de ensayey;si los números de adsorción de yodo a ser determinados son mayores de 500,pese 0.1250 gr. de Negro de Hu-

mo en el tubo de ensayo. Todos estos pesos deben tener una exactitud de 0.0001 gr.

NOTA: 2 El negro de humo sin agitar y sin peletizar puede hacerse más denso, si se desea, antes del secado que precede al pesado.

- Agregue 25 ml. de solución de yodo con una pipeta en el tubo de ensaye y tápelo inmediatamente. Las pipetas deberán estar calibradas con una precisión de 0.01 ml. Agite el yodo y el Negro de Humo durante 1 minuto. Usando el agitador mecánico a 240 golpes por min. Es necesario que se alcaze una mezcla completa del Negro de Humo y la solución de yodo.
- Centrifugue inmediatamente después de la agitación. Para una velocidad de la centrífuga arriba de 1,000 rpm. Centrifugue un minuto para el Negro de Humo peletizado ó 3 minutos para las muestras de Negro de Humo no peletizado.
- Decantar la solución de yodo completamente, haciéndolo suavemente, en un vaso de precipitados de 50 ml. inmediatamente después del centrifugado. Lo anterior nos permitirá tener la muestra de Negro de Humo en la parte inferior del tubo de ensaye.
- Inmediatamente después de decantar, agregue 250 ml. de solución con una pipeta en un frasco Erlenmayer de 250 ml. Titular la solución de yodo con tiosulfato de sodio 0.0394 N. Hasta que un color amarillo pálido se conserve. Adicione aproximadamente 5 ml. de solución indicadora de almidón y continuar titulando hasta que una gota de solución de $Na_2S_2O_3$, hace variar el líquido del color azul a incoloro. Leer el volúmen de tiosulfato empleado con una exactitud de 0.01 ml.
- Hacer un duplicado de la determinación en blanco.

- Hacer un duplicado de la determinación en una segunda muestra.

CALCULOS.-

Calcular el número de adsorción de yodo en miligramos de yodo por gramo de Negro de Humo como se indica a continuación:

$$I = \frac{(B - S)}{(B)} \times \frac{V}{W} \times N. \times 126.91$$

donde:

I = Número de Adsorción, mg. 1/2 / g. de Negro de Humo.

B = Mililitros de solución de $Na_2S_2O_3$, requeridos para la titulación del blanco (promedio de los valores obtenidos en los puntos anteriores).

V = Volúmen calibrado de la pipeta de solución de yodo de 25 ml. en ml.

W = Gramos de muestra.

N = Normalidad de la solución de yodo.

Nota: Normalmente estos cálculos para muestra de 0.50 g. se simplifica a:

$$I = \frac{(B - S)}{B} \times 300.14$$

REPORTE.-

El reporte incluirá lo siguiente:

a) Identificación correcta de la muestra.

b) Resultados obtenidos en las dos determinaciones individuales y su promedio.

VISCOSIDADES BROOKFIELD

Introducción.-

El viscosímetro Brookfield es un aparato para medir viscosidades absolutas por medio de un cilindro o huso rotatorio que gira dentro de un fluido. El aparato mide la resistencia que se opone a este movimiento, por medio de un resorte o muelle que acciona un indicador colocado sobre la carátula.

El viscosímetro puede medir una gran gama de viscosidades ya que se pueden cambiar los husos y las velocidades de corte. Para que un material que tiene una cierta viscosidad, la resistencia será mayor al aumentar la velocidad ó el tamaño del huso. La lectura mínima se obtiene usando el huso mayor a la más alta velocidad, la lectura mayor, usando el huso menor a la más baja velocidad.

Existen dos tipos de viscosímetros; uno LVT y otro RVT, ambos modelos cuentan con motor sincronizados de manera que pueden desarrollar velocidades de rotación exactas. Los cambios de velocidad se llevan a cabo por medio de un tornillo que permita cambiar a diferentes velocidades.

En la parte superior del viscosímetro se halla colocada una palanca de freno: al bajar la palanca se levanta la carátula y la flecha queda sujeta proporcionando la lectura.

MATERIAL.-

- Vaso de precipitado de 250 ml.
- Termómetro de 0-100 °C.
- Viscosímetro Brookfield (modelo LVT)
- Husos o cilindros.

PROCEDIMIENTO.-

1.- Atornille uno de los husos a la flecha del viscosímetro.

2.- Introduzca el huso hasta el nivel marcado en el material de prueba evitando que queden burbujas adheridas. Se deberá evitar que los husos rocen con las paredes del recipiente.

3.- Nivele el viscosímetro haciendo uso del nivel de burbuja.

4.- Apriete el freno y prenda el motor. Soltar el freno y permita que la carátula gire hasta que el indicador se estabilice en un punto dado. El tiempo requerido para la estabilización dependerá de la velocidad a la cual gira el huso; a velocidades arriba de 4 rpm. éste será de 20 a 30 segundos. A bajas velocidades es posible observar la posición del indicador, pero a mayores velocidades será necesario bajar el freno y parar el motor. Se necesita un poco de práctica para parar la carátula en el punto preciso.

5.- Si se requiere verificar las lecturas, prender el viscosímetro con el freno bajo, manteniendo la lectura original y luego soltar, así se acortará el tiempo de lectura al reducirse las oscilaciones del indicador. Si el indicador no se estabiliza, el material puede ser tixotrópico ó la temperatura puede no ser constante.

6.- La viscosidad del material puede obtenerse fácilmente consultando la regla de factores proporcionada junto con el viscosímetro. Para convertir las lecturas del viscosímetro a centipoises, ajustar la reglilla al modelo del viscosímetro y al número del huso empleado, multiplicando la lectura del viscosímetro por factor dado al lado de rpm.

NOTA: Se toman 3 lecturas de cada muestra repitiendo la misma operación.

METODO BROOKFIELD.-

Este método se utiliza en líquidos cuyo rango de viscosidad fluctúa entre 100 y 100,000 c.p.s.

EQUIPO.-

- Viscosímetro Brookfield
- Vaso de precipitado
- Termómetro de: -10 a 100 °C.

PROCEDIMIENTO.-

- Se disuelve la muestra (resina) en el solvente apropiado, al contenido de sólidos que se desee medir la viscosidad, o se dispone de ella tal cual, según el caso.
- Se coloca la muestra (resina) en el vaso de precipitado, ajustando y manteniendo la temperatura a 25 °C, se selecciona la aguja más adecuada (árbol) para la velocidad estimada, conectándolo al viscosímetro el cual se ajusta a su soporte de forma que la aguja penetre hasta el nivel marcado en la misma.
- Se selecciona la velocdiad adecuada (rpm) y se acciona el viscosímetro. Se anota la lectura indicada sobre la escala correspondiente, cuando ésta no presente variación.
- Con la lectura del viscosímetro y de acuerdo a la aguja y velocidad se calcula mediante el factor correspondiente (según tabla vimostrada en viscosímetro), el valor en poises o centipoises.
- Se toman 3 lectura de cada muestra.
- Viscosidad Brookfield a 25 °C en poises ó centipoises.

METODO PARA DETERMINAR:

PUNTO DE ANILINA (PARA ACEITES)

APARATO Y MATERIAL:

- Agitador magnético, MAYNESTIR.
- Vaso de precipitado de 500 ml.
- Termómetro.

PROCEDIMIENTO.-

1) En el vaso de precipitado se colocan 50 ml. de la muestra de aceite a analizar.
2) Se agregan 50 ml. de anilina para un total de 100 ml.
3) Se coloca dentro de la solución el termómetro sin tocar el fondo.
4) Se encienden las luces (para apreciar el cambio).
5) Se prende el agitador y se selecciona el rango de calentamiento en el No. 1.5 aproximadamente.
6) Cuando se nota un cambio de color en la solución volviéndose casi cristalina, se leé la temperatura, siendo éste el punto de anilina.
7) Reportar resultados al jefe de laboratorio.

METODO:

PUNTO DE IGNICION
(PERDIDAS POR IGNICION)

MATERIAL.-

- Mufla, Rango 0 - 1000 °C.
- Crisoles de porcelana
- Pinzas para crisol
- Desecador
- Balanza analítica

PROCEDIMIENTO.-

1) Tener a peso constante 2 crisoles de porcelana.
2) Pesar el crisol de porcelana, anotando este dato.
3) Agregar de 2 a 4 gr. de la muestra a analizar, pesar y anotar este dato.
4) Meter a baja temperatura el crisol con la muestra.
5) Sacar y meter a la mufla a 600 °C durante una hora.
6) Sacar y colocar al desecador, dejar reposar durante 25 minutos ó hasta peso constante.
7) Hacer la pesada correspondiente y anotar este último dato.

CALCULOS.-

$$\% \text{ de pérdidas por ignición} = \frac{PCCMH - PCCMS}{PCCMH - PCSM} \times 100$$

donde:

PCSM = Peso del crisol sin muestra.

PCCMH = Peso del crisol con muestra húmeda (antes de someter a mufla).

PCCMS = Peso del crisol con muestra seca (después de haberse sometido al calor).

METODOS DE ENSAYO DE CAUCHO

Introducción.-

Anteriormente se ha explicado lo concerniente a los cauchos más importantes, así como los aditivos, el proceso de mezclado y la vulcanización de los mismos.

En seguida se expondrán los diversos métodos de ensayo y controles que son necesarios efectuar en cualquier tipo de mezcla de caucho, y así poder mantener un alto nivel de calidad y por lo tanto de competencia en el mercado. Los ensayos de cauchos y gomas podemos dividirlos en dos grandes grupos:

1° .- Químicos analíticos.

2° .- Mecánicos tecnológicos.

En esta parte se expondrán los segundos.

A) ENSAYO DE LAS MATERIAS PRIMAS

En la práctica, para obtener caucho vulcanizado, muy raramente se parte de solamente caucho, agente vulcanizante y un acelerante. Normalmente se emplean diferentes clases de ingredientes ya sea para mejorar propiedades, facilitar el mezclado o disminuir precio.

De forma general podemos decir: un órden de adición sería el siguiente:
caucho, cargas, plastificantes, activantes, antioxidantes, vulcanizantes y acelerantes.

B) VISCOSIDAD MOONEY

El plastómetro Mooney, el que se emplea en este trabajo y mide la resistencia de una probeta a un esfuerzo continuo de cizallamiento a velocidad constante.

El ensayo se realiza de la siguiente manera: la mezcla a analizar se corta en forma de dos discos que se meten en una cámara sometida a presión y temperatura constantes, en cuyo interior gira un pequeño rotor. Se cierra la cámara y después de calentamiento empieza a accionar el rotor. Un dispositivo electrónico mide el par resultante y lo registra en unidades Mooney, en función del tiempo - por medio de una gráfica.

En dicha gráfica se lee el valor promedio que corresponde al punto más bajo de la curva (Pm)

El tiempo de prevulcanización (T_5) que corresponde al - tiempo transcurrido desde el comienzo de medida (To) hasta el momento de plasticidad en 5 Mooney sobre el valor Pm. La velocidad de vulcanización (V_{30}) se calcula:

$$V_{30} = \frac{PM\ 35 - PM\ 5}{T_{35} - T_5} = \frac{PM\ 30}{T_{35} - T_5}$$

C) VULCAMETRO O REOMETRO

El reómetro es un aparato muy empleado en los laboratorios de control de calidad de la industria del hule diario en la producción y para el desarrollo y estudio de nuevas formulaciones.

El aparato posee una cámara sometida a presión constante y calentada eléctricamente en la que se coloca una probeta del elastómero a ensayo. Un disco bicónico que se haya en íntimo contacto con dicha probeta, es impulsado mediante un mecanismo con movimiento oscilatorio sinusoidal de una frecuencia de 100 rpm. El aparato registra en fundión del tiempo, el par resultante de fuerzas necesario para oscilar el disco en forma de curva gráficä.

METODO ALTERNATIVO

1.- Mezclado por integración de potencia

El mezclado de los compuestos de hule es hecho en un proceso por lotes ó batch, utilizando equipo como molinos, mezcladores internos, denominados Banbury. El propósito del proceso de mezclado es integrar los ingredientes de un compuesto de -- hule, homogéneamente.

El control del mezclado está enfocado a:

a) Asegurar la uniformidad de dispersión de los materiales en cada mezcla.
b) Asegurar la uniformidad de mezcla a mezcla.
c) Hacer más eficiente el uso del equipo en cuanto a tiempo y consumo de energía.

Existen tres factores que contribuyen a la pérdida de uniformidad en el mezclado:

a) Variación en las materias primas.
b) Errores en el pesado de los ingredientes.
c) Cambio en el ciclo de mezclado.

Las variaciones de las materias primas, principalmente en los polímeros pueden ser mínimas si se establece un control estricto de calidad y de acuerdo a las especificaciones de las materias primas solicitadas a los proveedores. Un uso selectivo y alterno de los diferentes lotes de materiales dan mejores propiedades de uniformidad.

Los errores de pesado pueden ser disminuidos, adiestrando al operador en el uso de la báscula, así como verificar periódicamente el buen funcionamiento de las mismas.

El tercer factor está relacionado con la uniformidad del compuesto, es el control del ciclo de mezclado, a este respec

to, se puede decir que los compuestos de hule han sido tradicionalmente mezlcados utilizándose como parámetros el tiempo y/ó la temperatura, ambos parámetros son extremadamente dependientes del mezclador utilizado, de su capacidad y condición del mismo.

El control por medio de parámetros de tiempo-temperatura NO siempre asegura la uniformidad de lote a lote, en el mismo mezclador debido a la dificultad de detectar con precisión la temperatura dentro de la cámara del mezclador, actualmente el control en el cíclo de mezclado es hecho de acuerdo a la medición del trabajo consumido por mezcla, y es registrado en un aparato diseñado para este propósito, que en el medio hulero es denominado INTEGRADOR DE POTENCIA, este parámetro indicador ha mostrado ser la forma más conveniente para asegurar la uniformidad de propiedades del mezclado de lote a lote independientemente del tipo de mezclador y su estado físico.

Además se utiliza en ésta operación como un excelente auxiliar el análisis de las propiedades reológicas del producto, una vez mezclado y acelerados los materiales.

A continuación se exponen las ventajas del mezclado por Integración de Potencia donde se intenta demostrar la uniformidad del mezclado y la eficiencia, utilizándose como parámetros la viscosidad Mooney y las propiedades de los materiales, después de mezclados.

2.- Teoría del control de mezclado por Integración de Potencia

El trabajo o energía consumida por mezcla es el efecto combinado de potencia consumida y tiempo empleado durante el mezclado, valores que son registrados en equipo diseñado exprofeso.

Inicialmente la potencia registra un incremento rápido cuan

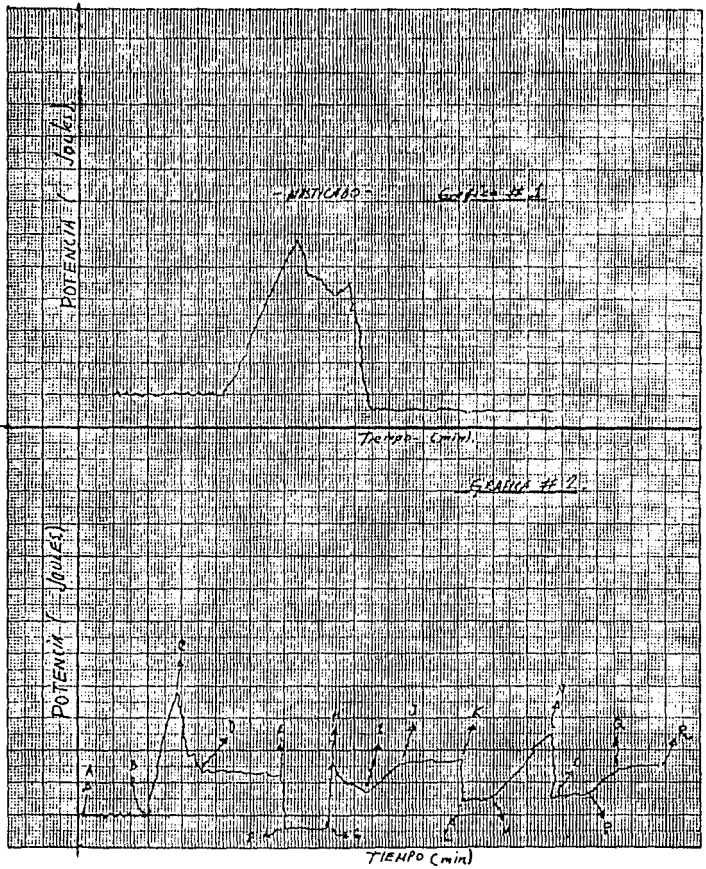
do el mezclador ha sido terminado de cargar, la potencia consumida decrece conforme el tiempo de mezclado se incrementa, en virtud de que el masticado del polímero causa un incremento de la temperatura y consecuentemente una reducción de la viscosidad del mismo.

La gráfica # 1, representa una curva de potencia integrada, que se mide en JOULES (J). Esta es la curva típica del -- masticado de un polímero (break down).

La viscosidad Mooney, después de haberse realizado el -- masticado, es inversamente proporcional al trabajo suministrado a la mezcla, la viscosidad decrece conforme se incrementa el trabajo.

El masticado del polímero es solo una parte de la operación del mezclado y la incorporación de todos los ingredientes de una fórmula, también es analizada mediante la gráfica del equipo diseñado para este propósito y que se denomina Integrador de Potencia.

El trabajo dado a una mezcla en la cual se aprecia la incorporación de: polímeros, plastificantes, cargas, etc. Se observa en la gráfica #2, en la cual a fin de dar una mejor explicación se han señalado con letras los puntos de inflexión de la curva. El primer intervalo (AB), de la gráfica muestra el momento de carga del polímero o polímeros; el intervalo -- (BC) indica el masticado de los mismos, así como también se aprecia el primer incremento de potencia; en (CD) se presenta una brusca caida en el nivel de la potencia consumida, lo que indica el momento en que el pistón es levantado; el tramo -- (DE), indica la carga del plastificante, el cual se usa como ayuda de proceso; en (EF) muestra una brusca caida de potencia por disminución de la viscosidad de el hule; el intervalo (FG) comprende la incorporación de el plastificante en el


POTENCIA (JOULES)
TIEMPO (min)
POTENCIA (JOULES)
TIEMPO (min)

polímero; en (GH) se consigna la adición de el negro de humo, sin bajar el pistón lo cual eleva la viscosidad de el hule; - en (HI) se muestra la incorporación del negro de humo en el - compuesto; en (IJ) se ve el momento en que baja el pistón; en (JK) se da trabajo a la mezcla para la dispersión homogénea - de el negro de humo en la misma; en (KL) sube el pistón para agregar el resto de los componentes de dicha mezcla; en (LM) se agregan estos componentes; en (MN) baja el pistón, para - dar trabajo a la mezcla; en (NO) sube el pistón; en (OP) comprende el volteado de la mezcla, esto se hace con el objeto de presentar una cara diferente de contacto de la mezcla, con la cara de los rodillos del Banbury para una mejor homogenización de la misma mezcla; en el intervalo (PQ) se baja el pistón, y se da el trabajo final al compuesto; en el tramo (QR) comprende el momento de descarga del compuesto.

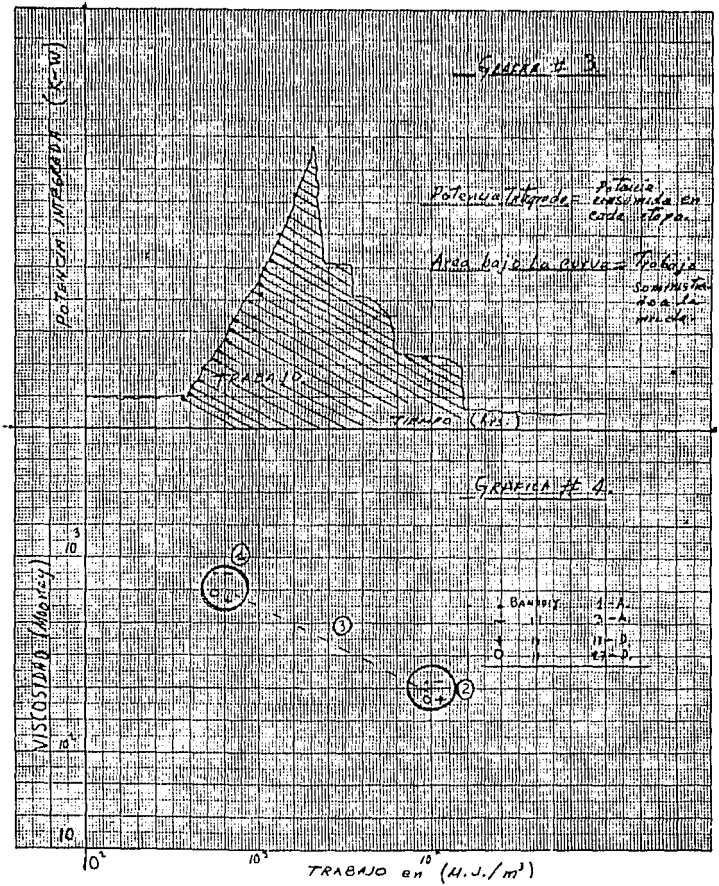
En la gráfica # 3, se muestra que el área bajo la curva es el trabajo suministrado a un compuesto. Pruebas experimentales de trabajo consumido por mezcla y capacidad real de operación de mezclador.

En el cuadro No. , se muestran las capacidades nominales y de operación real de cuatro diferentes tamaños de mezcladores:

Cuadro No.

1.-	Banbury	L-A	16	12
2.-	"	3-A	70	50
3.-	"	11-D	235	165
4.-	"	27-D	620	465

Basados en: = 1.0 y factor de llenado: 0.75


GRAFICA # 3.
Potencia Integrada = Potencia consumida en cada etapa.
Area bajo la curva = Trabajo suministrado a la mezcla.
TRABAJO
TIEMPO (Hrs.)
POTENCIA INTEGRADA (K.W.)
GRAFICA # 4.
VISCOSIDAD (Moises)
TRABAJO en (H.J./m³)
BANBURY
1 - A
2 - A
11 - B
12 - B
10³
10²
10

2.1 Trabajo vs. capacidad de mezclador

El trabajo dado a los compuestos, fué registrado durante el mezclado y la viscosidad Mooney, fué medida al final de este, estos datos están graficados en la figura # 4, aquí podemos apreciar que la viscosidad Mooney en los lotes hechos en diferentes Banburys es igual cuando la mezcla consume la misma cantidad de energía por m^3 . Conviene aclarar de esta gráfica los puntos 1, 2 y 3.

En 1 y 2 son lotes diferentes que tienen la misma viscosidad, ya que manejan diferentes volúmenes, pero contienen el mismo trabajo/m^3 ; en 3, la linea punteada indica que la viscosidad Mooney NO depende del tipo de Banbury sino de la energía suministrada a la mezcla y que es inversamente proporcional a dicha viscosidad Mooney.

Cuadro No.

Pruebas experimentales de trabajo consumido por la mezcla y la velocidad de rotores en el mezclador

Lote No.	Velocidad de rotor (r.p.m.)	Trabajo total (MJ)	Temperatura de descarga (°C)	Tiempo total (min.)	Viscosidad Mooney
1	25	34.2	88	1.45	42
2	"	"	87	1.40	44
3	"	"	88	1.45	45
4	"	"	87	1.45	43
5	"	"	89	1.40	45
6	"	"	88	1.50	44
7	30	34.2	88	1.05	43
8	"	"	87	1.00	42
9	"	"	89	1.04	41
10	"	"	88	1.11	45
11	"	"	88	1.07	44
12	"	"	87	1.05	44

Una serie de mezclas de hule naturales y SBR, fueron mezclados en un Banbury 11-D, con una especificación de trabajo de 34.2 mili-joules, éstas mezclas fueron hechas con dos velocidades de rotor diferentes, el primer grupo de mezclas con una velocidad de rotor con 25 r.p.m. y el segundo grupo de mezclas con una velocidad de rotor de 30 r.p.m. Todos los grupos de materiales fueron cargados al principio del mezclado y fueron hechas bajo las mismas condiciones.

En el cuadro No. 2 se muestran: el No. de lote, la velocidad del rotro, el trabajo total, la temperatura a la descarga de la mezcla, el tiempo total de mezclado y la viscosidad Mooney. En el mismo cuadro se aprecia que un incremento de - 20 % aproximadamente en la velocidad de los rotores del mezclador y con un trabajo total constante de 34.2 mili-joules dé como resultado un incremento poco significativo en la temperatura de descarga, sin embargo el tiempo de mezclado se reduce en alrededor del 30 %, situación que no produce un cambio significativo en la viscosidad Mooney promedio.

Otro punto interesante que consigna este cuadro, es que para obtener mezclas uniformes en viscosidad, el tiempo no necesariamente es el mismo para cada lote, ya que este depende entre otros parámetros de la temperatura ambiente, la temperatura de enfriamiento de la máquina y de las condiciones originales de la materia prima.

3.- Conclusiones

De acuerdo al análisis de los dos procedimientos para el control de mezclas, se puede señalar las ventajas que ofrece el procedimiento de mezclado por Integración de Potencia con respecto al procedimiento tradicional temperatura-tiempo.

En primer lugar, es de señalar la uniformidad que se obtiene en los lotes, así como se minimiza el desperdicio de lotes fuera de las especificaciones requeridas, lo cual redunda en una reducción del costo de la operación, situación que no ofrece el método tradicional.

En segundo lugar, se tiene la mejor y más eficiente utilización del equipo utilizado. Como se pudo observar en los cuadros y gráficas anteriormente comentadas, no es necesariamente útil el esperar que la máquina se enfríe, por lo tanto esta situación permite una reducción hasta de un 20 % del -- tiempo perdido entre lote y lote.

Como tercer y último punto se puede apuntar, que con este sistema de control de mezclado se facilita la fabricación de mezclas en un solo paso, proceso que es bastante complicado con los sistemas tradicionales en los que solo se controla la temperatura y el tiempo.

ANALISIS ECONOMICO.

Afin de efectuar una evaluación economica en cuanto a la conveniencia de emplear el procedimiento tradicional ó el propuesto, se consideró la producción de un tipo de mezcla durante un turno de 8 horas. Asi como los parámetros correspondientes de cada uno de los procedimientos. Por lo que se refiere al empleo de mano de obra, es de señalar que en ambos casos el empleo del personal obrero es el mismo, por lo cual este parámetro no se considera para la evaluación.

El mezclado de los componentes de un compuesto de hule, con un peso aproximado de 240 Kg. controlado por el procedimiento de Potencia Integrada y de acuerdo a los parámetros citados con anterioridad en la gráfica n.º 3. Del control paso a paso de esta operación se obtuvo la siguiente información que se muestra en el cuadro n.º 1.

CUADRO n.º 1

PASOS	A	B	C	D	E	F	G	TOTAL
POTENCIA KW-H x 10^{-1}	--	125	--	175	---	245	--	545
TIEMPO EN (SEG.)	25	---	10	---	10	---	235	280
TIEMPO DE SALIDA.	9	3	3	3	3	10	10	41

Como se observa en el cuadro n.º 1, el consumo total de energia es de 54.5 KW-H, y se emplearon 321 seg. en toda la operación, en este valor se incluye un tiempo muerto de 41 seg. que son la suma de cada intervalo entre paso y paso de mezclado.

Empleando el control de Integración de Potencia, en un turno de 8 horas. La producción nominal que se alcanza a procesar es de 89 mezclas, En el caso de utilizar el procedimiento tradicional, que controla temperatura-tiempo, la producción nominal en el mismo periodo es de 67 mezclas de las cuales se re-

procesan de 4-5 mezclas por turno, asi también el tiempo total por mezclas es de 429 seg. y la potencia consumida es de 72.8 kw-h.

En el cuadro n.º 2 se resume la producción y el consumo de energía, en un turno de 8 horas, De los dos procedimientos de control de mezclado.

CUADRO No. 2

PROCEDIMIENTOS	PRODUCCION (KG.)	ENERGIA (KW-H)	INDICE DE PRODUCCION (KG/KW-H)
TEMPERATURA Y TIEMPO	(1) 15120	4877.6	3.1
POTENCIA INTEGRADA	21360	4850.5	4.4

Del cudro No. 2 se deduce que con el procedimiento de Potencia Integrada la producción es mayor en un 40 %, respecto al procedimiento tradicional, asi como el consumo de energia es poco significativo, no asi el indice de produccion que también es de consideración lo que es suficiente para inclinarnos por el uso de el procedimiento de Potencia Integrada.

1) Esta cantidad corresponde a la producción efectiva de memezclas, es decir, se descuentan cuatro lotes, fuera de especificación, sin embargo para fines de cálculo de energia consumida si se consideran las 67 mezclas.

BIBLIOGRAFIA

1.- Control de la calidad estadistico
Eugene L. Grant.
Richard S. Leavenworth.
Editorial CECSA.

2.- Control total de la calidad.
A. V. Feigenbaum.
Editorial, CECSA.

3.- Memorias del curso de: El grupo hulero Mexicano.
Agosto - 1985

4.- Quimica Orgánica Fundamental.
Henry Rakoff
Norman C. Rose.
Editorial Limusa Mexico 1971.

5.- Quimica Orgánica
Robert T. Morrison.
Robert N. Boyd.
Fondo Educativo Interamericano.
Mexico 1976.

6.- Revista, Hule Mexicano y Plástico

7.- Rubber Chemistry and Tecnology.
Vol. 40 No. 5 december, 1967.

CONCLUSIONES:

Aún cuando el consumo de energia por turno muestra una diferencia poco significativa, entre los dos procedimientos, su relación de Kgs. nominales producidos entre la energia consumida, nos indican un mejor aprovechamiento de los Kw-H consumidos por el procedimiento de Potencia Integrada.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se puede concluir: La ventaja principal al operar con el proceso por Integración de Potencia, es la reducción en costos, por concepto de la operación del equipo y ademas se obtiene un producto con las especificasiones deseadas debido que al trabajar por consumo de Energia ó Potencia, se obtiene un mejor control de la operación y consecuentemente una mayor productividad. Debido a estas ventajas la compañia ha adoptado esta tecnica para el diseño de su propio equipo para trabajar por el procedimiento de Integración de Potencia.