

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

195



**ESTUDIO MONOGRAFICO DEL PROCESO DE
FABRICACION DE
BANDAS TRANSPORTADORAS**

JUVENTINO OLIVERA KAPELLMANN

INGENIERIA QUIMICA

1973

M-165609



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

Presidente: Quím. Julio Terán Zavaleta

Vocal: Ing. Jesús Vázquez Rojas

Secretario: Ing. Héctor Sobol Zaslav

1er. Suplente: Ing. Fernando Iturbe Hermann

2o. Suplente: Quím. Margarita González Terán

Sustentante: Juventino Olivera Kapellman

Asesor del Tema: Quím. Julio Terán Zavaleta

A mis queridos padres:

Sr. Juventino Olivera López y

Sra. Graciela K. de Olivera

con todo cariño, gratitud y veneración

A mis hermanos:

Graciela, Concepción y Rogelio

afectuosa y fraternalmente

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	11
CAP. I.—BREVE EXPOSICION SOBRE LAS CARACTERISTI- CAS Y SELECCION DE LAS BANDAS TRANSPOR- DORAS	15
CAP. II.—ASPECTOS QUIMICOS DE LA ESTRUCTURA DEL HULE Y DEL FENOMENO DE LA VULCANIZACION	31
CAP. III.—MATERIALES USADOS EN LA FABRICACION DE BANDAS TRANSPORTADORAS	43
CAP. IV.—MANUFACTURA	59
CAP. V.—VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA VULCA- NIZACION	69
CAP. VI.—CONCLUSIONES	83
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

En este trabajo se expondrá con detalle lo relacionado a la manufactura de un elemento de gran importancia en muchas plantas industriales, minas y compañías de diversa índole: las bandas transportadoras.

Las bandas transportadoras son productos de relevancia dentro de la industria hulera en su rama de Productos industriales. Cada año, cientos de empresas manufactureras solicitan bandas transportadoras para sus instalaciones, para mover sus materias primas, materias en proceso, productos terminados, y dar así una provechosa continuidad al movimiento de los diversos materiales. Como se comprenderá, la variedad de materiales por manejar a base de bandas transportadoras, la cantidad acarreada, las distancias por recorrer, hacen que haya una gama muy amplia de tipos de bandas transportadoras.

Se requiere de una técnica muy elaborada en la manufactura de bandas para atender los requerimientos que se exijan en cada caso. Se necesita que haya un control preciso de los compuestos que forman el hule utilizado en las bandas, de un procesado cuidadoso donde se cumplan las especificaciones en cada estilo de banda, en cada etapa de su fabricación; además, como generalmente las fábricas que producen bandas también manufacturan llantas, mangueras, bandas-V, productos moldeados, suelas, etc., es necesario un control de producción dinámico y esmerado ya que mucha maquinaria es común para todos los productos mencionados. Por otro lado el producto estudiado en este trabajo, siendo de un uso en el cual se exige completa seguridad, requiere de un exhaustivo número de especificaciones en cada paso de fabricación, y por tanto de un estricto control de calidad.

En este trabajo se desarrollará un capítulo que versará sobre las características y selección de bandas transportadoras desde un punto de vista general, con el objeto de visualizar el uso tan amplio y las especificaciones tan rígidas que tiene este producto. En otra sección se dará una explicación desde el punto de vista químico de la vulcanización en

CAPITULO I

BREVE EXPOSICION SOBRE LAS CARACTERISTICAS Y SELECCION DE LAS BANDAS TRANSPORTADORAS

Las bandas transportadoras como su nombre lo indica consisten en bandas sinfín, adecuadamente soportadas y en movimiento, que transportan sólidos de un lugar a otro. Las bandas transportadoras se pueden adaptar a una gran variedad de anchos, tensiones, materiales por transportar, requieren de relativamente poca potencia y pueden transportar sólidos a largas distancias. El costo inicial es usualmente más alto que para otros sistemas, pero esto no constituye el factor decisivo en la práctica.

1 La banda cargada es soportada por un sistema que se denomina transportador mecánico el cual está formado por un sinnúmero de triples rodillos que sobrellevan a la banda en su recorrido sinfín y poleas motrices y de retorno. Los rodillos deben estar espaciados de tal manera que la banda no se pandee entre ellos. El espaciamiento varía de alrededor de 5 pies para bandas angostas hasta 3 pies en bandas muy anchas; los rodillos de retorno están espaciados a intervalos más grandes.

La mayoría de las bandas transportadoras, conocidas como bandas de hule podrían más propiamente llamarse bandas de hule y lona, puesto que las fuerzas o tensiones principales son absorbidas precisamente por la lona, mientras que el hule sirve para ligar los elementos de la banda y para proteger contra la abrasión, agentes químicos y otras influencias externas.

A) Partes de una Banda Transportadora

2. Por medio de un diagrama, que representa un corte transversal de una banda, se pueden observar sus partes integrantes; hoy que hacer la aclaración de que se ha tomado un ejemplo representativo de construcción, pues es muy grande la variedad de construcciones de bandas; sin embargo la mayoría de las bandas transportadoras llevan generalmente estos elementos. La figura 1 muestra esquemáticamente las partes de la banda que a continuación se explican:

Lonas.—Son los elementos en los que recaen las tensiones de trabajo de la banda. Tienen un tejido longitudinal (matriz) y un tejido transversal (trama).

B) Capacidad de Bandas Transportadoras

Las bandas transportadoras son un medio de transportación de alta capacidad; por ejemplo, el carbón puede ser manejado a una capacidad de 3000 ton/hr sobre una banda de 60 pulgadas de ancho, bandas de 30 pulgadas transportan 1200 ton/hr de mineral de hierro. La capacidad de una banda transportadora depende de la velocidad y del área de la carga que puede ser amontonada sobre la banda sin derramarse.

Una fórmula empírica que se usa ampliamente para calcular la capacidad de las bandas puede expresarse como sigue:

$$T = \frac{(W + 180) W^2 S M}{12,000,000}$$

donde: T=capacidad en ton/hr
W=ancho de la banda en pulgadas
S=velocidad en pies/minuto
M=densidad del material en libras/pie³

Se ha desarrollado otra fórmula posteriormente, con la que se han obtenido valores mejores de capacidad, con respecto a la vida útil de la banda:

$$T = \frac{5.75 (W - 3.3)^{1.96} S M}{200,000}$$

Las dos fórmulas muestran aproximadamente la misma capacidad para 16 pulgadas, pero la última fórmula da progresivamente capacidades más altas para bandas más anchas.

Las anteriores fórmulas no toman en cuenta la naturaleza del material manejado más allá de su densidad. No obstante dan valores muy seguros para la mayoría de los materiales transportados. Materiales húmedos tales como el concreto, que se resbale en el trayecto pueden ser transportados a velocidades más bajas que aquellas indicadas por las fórmulas; mientras que por el contrario materiales que puedan transportarse en ángulos muy empinados, tales como arena húmeda, tierra, o carbón húmedo, que contengan un gran porcentaje de finos, pueden ser manejados a velocidades que excedan aquellas obtenibles por las anteriores fórmulas hasta en un 20%.

Hay un número máximo de capas de lona que pueden ser usadas en una banda de un ancho determinado, debido a las necesidades de retensión de la flexibilidad transversal. La tabla 2 muestra el número máximo de capas que pueden ser usadas bajo condiciones regulares, y también el mínimo número de capas que son requeridas para soportar cargas de diferentes materiales.

En años recientes la demanda de tensiones más altas ha provocado que se requiera un número más alto de capas que las indicadas en la tabla 2. Esta demanda hizo que primero las bandas se reforzaran con cuerdas, y más tarde que las bandas fueran hechas con cable de acero en las cuales las tensiones longitudinal y transversal son casi independientes y pueden ser controladas separadamente por el diseñador de bandas.

Para bandas con tensiones de trabajo intermedias entre aquellas obtenibles con lonas ordinarias y aquellas de construcciones de cuerdas o cables de acero hay una gran variedad de lonas con gran versatilidad en su uso. El primer paso es el uso de tejidos especiales, los cuales con algún sacrificio en otras características, provean suficiente flexibilidad lateral para permitir una o más capas que las lonas comunes.

Un segundo paso es el uso de hilos más fuertes que el algodón en tejidos más o menos comunes. Los más importantes de éstos son la mezcla de rayón y algodón que permite la construcción de lonas teniendo 2 ó 3 veces la resistencia de las lonas convencionales de algodón. Estas lonas extienden el rango de capas dentro de la gama de bandas de lona de algodón y las lleva al rango final de las bandas de cable de acero.

Para hacer estas bandas más fuertes es necesario que el módulo de elasticidad de la cuerda reforzante o de la lona sean incrementados, además del incremento en la longitud de la banda entre las condiciones estática y dinámica puede hacerse tan grande que pueda ser manejado por el mecanismo de ajuste en las poleas extremas. En adición, el permanente crecimiento de la banda en longitud es usualmente inversamente proporcional al módulo y puede hacerse excesivo a menos que el módulo sea alto. Sin embargo, bandas hechas con materiales de alto módulo tienen la desventaja de una gran rigidez y consecuentemente altos esfuerzos de flexión al pasar por las poleas. Esto hace deseable construir bandas resistentes, de alto módulo, con un refuerzo que consiste en una capa de cable de acero, aunque los requisitos de esfuerzos a la tensión puedan ser obtenidos con el uso de lonas.

#5 D) Selección del Ancho y de la Velocidad

Quando una banda transportadora de una capacidad dada va a ser diseñada para transportar un material conocido, varias combinaciones del ancho de la banda y de la velocidad son posibles, que fluctúan desde una velocidad lenta con una banda ancha hasta una alta velocidad con una banda angosta. Es ordinariamente más económico usar tan angosta la banda como la velocidad del transportador lo permita. El ancho, sin embargo, no debe ser tan angosto que terrones de material caigan fuera de la banda si caen en una desfavorable posición al cargar; ni debe la velocidad ser tan alta que el material resbale de la banda o la carga se tire alrededor por aceleración vertical, atascando los rodillos del transportador. ~~Las velocidades máximas recomendadas para uso general se muestran en la tabla 3.~~ Puede ser encontrado que la naturaleza del material o el tamaño de los terrones requiera una banda más ancha que las que normalmente serían indicadas para la capacidad requerida. La banda entonces debería correr más lenta al punto donde limite la capacidad volumétrica o la tensión permisible que sea encontrada.

#6 E) Potencia y Tensión de la Banda

Con la velocidad y el ancho seleccionados, y con la capacidad en ton/hr, longitud y elevación de la banda, es necesario determinar cuan fuerte o resistente se requiere la banda y qué tanta potencia se necesita. Estas incógnitas pueden ser encontradas calculando las fuerzas involucradas en el movimiento vertical de la carga a la velocidad especificada y estimando todas las fuerzas de fricción, incluyendo la fricción de los rodillos, la fricción de la banda con los rodillos, y el trabajo de fricción interno hecho sobre la banda misma y la carga.

Se han obtenido constantes para usar en el cálculo de la fricción, por medición de los requerimientos de potencia de transportadores que llevan cargas conocidas. Dos constantes son comunmente empleadas; una constante representa la fricción a lo largo de la longitud de la banda, y es expresada como el coeficiente de fricción C de la banda entre los centros de las poleas. La otra constante representa las resistencias a la fricción en las poleas terminales, faldones de las tolvas, etc. Esta componente de la fricción es, para propósitos prácticos, independiente de la longitud de la banda y es convenientemente tomada en cuenta agregando una longitud de compensación a la actual longitud de la banda.

El factor de fricción C para transportadores equipados con el tipo de rodillos antifricción comunes es 0.03. Para instalaciones con buen man-

TABLA "4"

**VALORES PROMEDIO DEL FACTOR Q
PARA BANDAS TRANSPORTADORAS**

Ancho de la banda (pulgadas)	Q (lb/pie)	Ancho de la banda (pulgadas)	Q (lb/pie)
14	13	36	38
16	14	42	52
18	16	48	61
20	18	54	71
24	21	60	85
30	31		

pulgadas en las cuales se usaron de 6 pulgadas. El espacio de los rodillos de retorno es tomado como de 10 pies, y el espacio de los rodillos del transportador como de 3 a 4 pies, dependiendo del ancho de la banda. Los valores de Q representan el peso de libras de banda, y partes móviles de rodillos y poleas por pie de distancia de centro a centro del transportador.

Cuando una banda está inclinada, un componente del peso de la carga viva actuando paralelo a la banda se agrega o deduce de la fuerza requerida para vencer la fricción. Esta fuerza es simplemente $100TH/3S$, donde H es la distancia vertical a la cual la carga es elevada. En bandas con una inclinación fuerte este componente se hace un valor grande comparativamente a la fuerza total sobre la banda, algunas veces llegando al 90% del total. Así que en tales transportadores cualquier inexactitud al estimar el factor de fricción es de relativamente pocas consecuencias. La fuerza total T_E que resiste el movimiento de la banda es:

$$C(L + L_0)(Q + 100T/3S) \pm 100TH/3S$$

La potencia requerida para que funcione la banda es $T_E S/33,000$ si las cantidades están expresadas en unidades de libras, pies y minutos. Los motores usados para manejar la banda deben tener una capacidad de alrededor de 10% más que la encontrada, para permitir pérdidas en la reducción de velocidad entre el motor y la banda.

La fuerza total sobre la banda es la fuerza T_E requerida para manejarla, más una fuerza adicional en la forma de la tensión del lado flojo

TABLA "6"

DIAMETROS DE POLEAS RECOMENDADOS (PULGADAS)

Lona	Condiciones	Número de capas			
		3	6	9	12
28 y 32 oz	Transmisión tandem u otras poleas a 110% de tensión	20	38	58	78
	Poleas para 40% de tensión.....	10	20	28	38
36 y 42 oz	Transmisión tandem u otras poleas a 110% de tensión	22	42	64	84
	Poleas para 40% de tensión	10	20	30	40
48 oz	Transmisión tandem u otras poleas a 110 % de tensión	24	48	72	96
	Poleas para 40% de tensión	12	22	32	42
Rayón	Transmisión tandem u otras poleas a 110% de tensión	18	36	54	72
	Poleas para 40% de tensión	10	20	30	40

F) Selección de la Banda

#7. La tensión máxima en una banda es el factor principal para determinar el tipo y monto de refuerzo requerido, si va a ser armazón de lona, o de cable. En muchas instalaciones simples, sin embargo, una banda de lona teniendo el mínimo número de capas recomendado para las condiciones de instalación será encontrado que posee resistencia excedida del máximo de tensión. La calidad del hule requerido en el armazón de la banda depende de la frecuencia y severidad de los esfuerzos de flexión a los cuales la banda está sujeta. La frecuencia depende de la longitud y la velocidad de la banda, mientras que la severidad es determinada por la tensión y por el tamaño de las poleas. Diámetros de polea recomendados para bandas de diferentes construcciones se dan en la tabla 6.

El grueso y calidad del hule de cubierta que es usado para proteger al armazón de la banda contra los gientes exteriores debe ser tal que se

TABLA "8"

**CALIDAD Y GRUESO DE CUBIERTAS
RECOMENDADOS PARA MANEJO DE MATERIAL FRIO
CON CONDICIONES NORMALES DE CARGA**

(Grueso de cubiertas en 32o. de pulgada)

Factor 2L/S (minutos por revol. completa de banda)	Calidad de Cubierta	Materiales moderada- mente abrasivos (tamaño de partícula)				Materiales muy abrasivos (tamaño de partícula)			
		polvos a ¼"	½ a 1½"	2 a 5"	6" y más	Polvos a ¼"	½ a 1½"	2 a 5"	6" y más
0.2	4	6	—	—	—	—	—	—	—
	2	3	6	10	12	12	—	—	—
	1	2	4	8	10	10	12	12	12
0.6	4	3	5	9	—	—	—	—	—
	2	2	3	4	6	6	10	—	—
	1	2	3	4	6	4	7	12	12
1.0	4	2	3	5	8	—	—	—	—
	2	2	3	4	6	4	6	12	—
	1	2	3	4	6	4	4	8	12
2.0	4	2	3	4	6	—	—	—	—
	2	2	3	4	6	4	4	6	12
	1	2	3	4	6	4	4	6	12
4.0	4	2	3	4	6	—	—	—	—
	2	2	3	4	6	4	4	6	8
	1	2	3	4	6	4	4	6	8

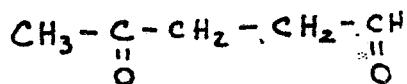
CAPITULO II

ASPECTOS QUIMICOS DE LA ESTRUCTURA DEL HULE Y DEL FENOMENO DE LA VULCANIZACION

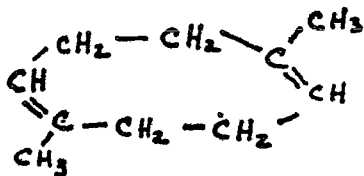
A) Estructura del Hule

Anteriormente a 1900 se conocía poco de la estructura del hule. El isopreno se podía obtener del hule en pequeñas cantidades y se podía polimerizar para conseguir productos parecidos al hule. Era conocido también que el peso molecular era alto y que el hule estaba insaturado con una doble unión por cada grupo C_5H_8 , puesto que se agregan 2 átomos de bromo por cada grupo C_5H_8 .

En los primeros años del siglo, C D Harries, demostró que la proporción de fracción de alto punto de ebullición era considerablemente incrementada cuando el hule era destilado en seco y en vacío. Corto tiempo después, siguiendo una observación que lo había intrigado, a saber, que un tubo de hule era endurecido por la acción del ozono, él ozonizó hule en solución. Por hidrólisis del hule ozonizado él obtuvo aldehído levulínico



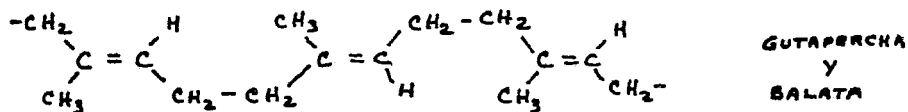
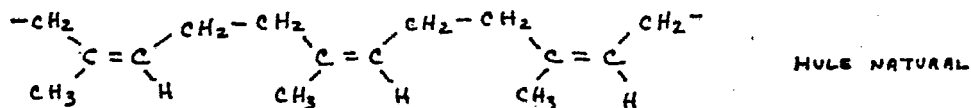
ácido levulínico (por oxidación del aldehído con peróxido de hidrógeno que es un producto secundario de la reacción), peróxido del ácido levulínico, y pequeñas cantidades de ácido fórmico, ácido succínico y bióxido de carbono. Todas estas substancias formaron alrededor del 70% del hule. Pummerer más tarde repitió este trabajo (1931), verificando los resultados de Harries, y, con métodos más refinados, dio razón de alrededor del 90% del hule. En los trabajos de Harries se obtuvo el bajo peso molecular del compuesto $C_{10}H_{16}O_8$, y él por lo tanto pensó que la estructura básica del hidrocarburo era 1.5 dimetil 1.5 ciclo octadieno



extra. En el presente no hay ningún método de determinación de una doble unión en una cadena muy larga; el error sería mucho más grande que la proporción. La ozonólisis ha producido sustancias con 5 o menos átomos de carbono, pero no se pueden obtener conclusiones satisfactorias.

Si en un compuesto que tenga una doble unión entre 2 átomos de carbono, hay dos tipos de substituyentes diferentes (cuatro en conjunto), dos de los substituyentes estando sobre uno de los dos carbonos y los otros dos estando sobre el otro, hay una oportunidad para que se presente isomería cis-trans.

El hule natural y la gutapercha y balata tiene la misma estructura química: polisopreno. Por hidrogenación Staudinger convirtió estos hidrocarburos en hule hidrogenado, hidrogutapercha e hidrobalata, y encontró que estos productos eran idénticos excepto en su peso molecular; él por tanto sugirió que los compuestos iniciales son isómeros geométricos. Un trabajo posterior demostró que el hule natural es el isómero cis y que la gutapercha y balata los isómeros trans. Las fórmulas estructurales son como sigue:



B) Química de la Vulcanización

La vulcanización produce profundos cambios en las propiedades de los hules naturales y sintéticos. Se conoce actualmente mucho de estos cambios, aunque la química de la vulcanización con azufre es todavía sólo parcialmente conocida. La vulcanización puede también ser llevada a cabo con ciertos tipos de compuestos orgánicos sin la presencia de azufre elemental; puede efectuarse también por medio de radiaciones gama.

Una vulcanización satisfactoria de hule natural con azufre tiene cuatro importantes efectos:

- 1.—El hule cambia de ser un material plástico a un material elástico.
- 2.—Cambian marcadamente las características de solubilidad: mientras que el hule crudo es soluble en benceno, hexano, cloroformo y tetraclo-

Se obtuvieron resultados similares más tarde con hule y monocloruro de azufre o dicloruro de azufre.

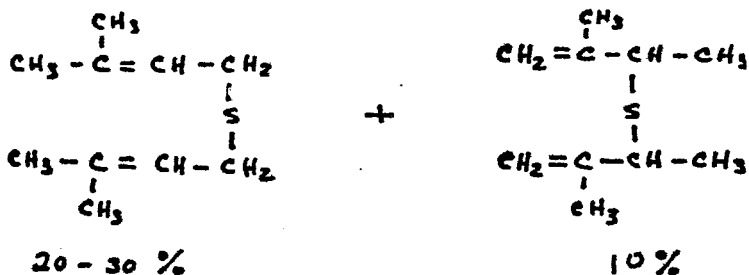
Weber hizo considerables trabajos sobre la química de la vulcanización de hule natural con azufre. Fue el primero en considerar que la vulcanización era puramente un proceso químico, y él también fue el primero en proponer que la vulcanización traía consigo la unión cruzada de largas cadenas.

David Spence demostró que la vulcanización se llevaba a cabo a todas las temperaturas de 50 a 70°C y arriba, sólo que se requerían muchos días para completar la reacción.

El azufre se disuelve en hule crudo a temperatura ambiente, 1.5 gramos en 100 gramos de hule, y 7 gramos a 97°C. Forma soluciones sobresaturadas, y cuando la porción que está arriba de la solubilidad se supera, cristaliza en una bella masa dendrítica. El azufre también se disuelve similarmente en hule vulcanizado, y cuando está libre de combinación y arriba de su límite de solubilidad, cristaliza sobre la superficie en la forma de un polvo amarillo y se dice que aflora el hule. Para evitar este fenómeno, indeseable en los productos terminados la proporción de azufre usada es de 1 a 3 partes por 100 de hule natural.

Tipo de Unión Química

Un primer vistazo sobre la manera en la cual el azufre se combina con el hule natural parece muy simple; sin embargo, hasta el presente no es posible descubrir el mecanismo exactamente. El azufre no se adiciona a la doble ligadura, y no obstante una doble ligadura es siempre removida por cada átomo de azufre químicamente combinado. Pequeñas proporciones de H_2S se forman algunas veces y luego reaccionan casi inmediatamente para dar sulfuros. Grupos mercapto, $-SH$, no se han encontrado por medios químicos o por análisis espectral. Aparentemente no hay grupos disulfuro, $-S-S-$, aunque éste no ha sido demostrado adecuadamente hasta ahora. Por cálculos se ha mostrado que 2 átomos (1.7 a 2.2) de azufre son requeridos por cada enlace de cadenas, pero no es conocido cómo y dónde pueden existir, o si están juntos o separados. Se ha sugerido una tioacetona $=C=S$, pero la evidencia química es inadecuada. De todos los tipos sugeridos los únicos que tienen un fundamento químico son el tipo tioeter, $-S-$, y posiblemente el tipo disulfuro, $-S-S-$. Esto es sólo una conclusión parcial; podría estar en un anillo, o (posiblemente mejor) entre dos cadenas, probablemente uniendo 2 átomos de carbono metílenos.



El miembro de menos proporción es similar a los otros, pero se forma después del cambio de la doble ligadura. No se encontraron productos con una sola unidad de olefina en la molécula, ni sin azufre, y ni con unión carbón-carbón.

La vulcanización puede también ser efectuada por el método de Peachy y Skipsey, quienes colocaron hule primero en H_2S y luego en SO_2 o viceversa. La reacción es rápida pero solamente sobre la superficie. Si una barra de hule natural es así tratada, la cubierta cortada y la porción baja colocada en benceno, el interior es disuelto, dejando un hueco con hule vulcanizado alrededor. La reacción efectuada es como sigue:



La reacción no trabaja arriba de 75°C .

La polimerización ha sido considerada una causa de la vulcanización. Si ésto es correcto, debería estar acompañada por un decremento en volumen, pero a altas presiones no se observa cambio. Debería haber también una caída en insaturación, sin embargo, no hay método que pueda determinar tal pequeño decremento.

Hule hidrogenado no puede ser vulcanizado con azufre, y ésto es una razón del porqué fue pensado que la insaturación del hule natural tenía algo que ver con la adición de azufre, ésto es, por la adición de azufre a la doble ligadura.

Trabajos de Farmer han enfocado la atención sobre la posible acción del azufre sobre el grupo alfa metilénico en la vulcanización de hule natural. El demostró que las olefinas no reaccionan con maleato de metilo a temperatura ambiente, pero sí reacciona a temperaturas arriba de 220°C . Esto es verdad para ciclohexeno, 1 metil ciclohexeno, dihidromiceno y hule natural. El ciclohexeno forma un producto de sustitución en el

El oxígeno y el azufre tienen muchas propiedades químicas similares, y es bastante probable que, si el oxígeno ataca el grupo alfa metileno, el azufre lo haga igualmente.

El hule vulcanizado no se disuelve, sino que solamente se hincha en la mayoría de los solventes. Un estudio de este hinchamiento limitado es característico de los polímeros que poseen estructuras de malla y el máximo grado de hinchamiento de la malla en contacto con el solvente está relacionado al grado de uniones cruzadas. Más aún, desde el punto de vista de estructura, la vulcanización consiste en la introducción de uniones intermoleculares cruzadas en puntos al azar entre las moléculas. Estas uniones cruzadas pueden ocurrir en un promedio de una vez por cada 200 unidades estructurales en un hule suave vulcanizado. Así, cada molécula estará unida a otras moléculas en un promedio de 5 o más puntos, y se desarrollará entonces una estructura de malla continua. Esta malla se extenderá por todo el pedazo de hule. Incluirá muy cercanamente todas las moléculas de hule inicial, puesto que como el número total de uniones cruzadas considerablemente excede el número total de moléculas primarias. Esta es una consecuencia de leyes estadísticas aplicadas a procesos de uniones cruzadas al azar. Durante el proceso de uniones cruzadas las moléculas de hule pierden sus identidades como unidades individuales, siendo reemplazadas por una estructura continua de malla. El elemento primario de la malla es la porción de una molécula de hule que se extiende de una unión cruzada a la siguiente encontrada a lo largo de la molécula.

CAPITULO III

MATERIALES USADOS EN LA FABRICACION DE BANDAS TRANSPORTADORAS

Los variados estilos de bandas transportadoras propias para cada material por manejar, dan por resultado que los materiales que se usan en una planta que fabrique este producto sean muchos y muy variados.

Hay bandas, por ejemplo, que están diseñadas por transportar material caliente, y para esto se utilizan compuestos especiales que permitan que tenga una resistencia al calor; a su vez, hay estilos que están destinados a resistir material abrasivo y por tanto requieren cubiertas apropiadas para estas exigencias. Por otro lado, las tensiones que se ejercen por el peso del material, por las fricciones ya estudiadas en el capítulo I, hacen indispensable la posibilidad de recurrir a diversos tipos de lonas que puedan utilizarse con la mayor eficiencia a un menor costo.

Podemos dividir en dos secciones los materiales que se utilizan en la manufactura de bandas transportadoras: A) Compuestos y B) Lonas

A) COMPUESTOS

Se denomina "compuesto" a la mezcla de hule de cualquier tipo con los ingredientes que se añaden para poderlo procesar, vulcanizar, y proporcionarle las características especiales para su uso.

Se utilizan una gran variedad de compuestos dependiendo de varios factores:

- Requerimientos del estilo de la banda.
- Lugar que ocupe el compuesto en la banda: cubiertas, cojines o fricciones.
- Procesabilidad en fábrica.
- Aspecto económico.

Cada compuesto está formado por diversos materiales que desempeñan individualmente y en conjunto una función definida. Así, entran en la composición: elastómeros, agentes vulcanizantes, aceleradores, antioxidantes, plastificantes, ablandadores, agentes reforzantes, odorantes, pigmentos, agentes ignífugos, etc.

1.—ELASTOMEROS

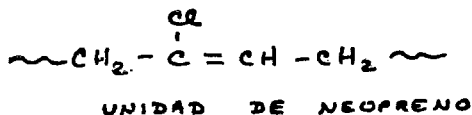
En la fabricación de bandas transportadoras se emplean hules natura-

HULE NITRILLO

Este hule fue primeramente comercializado en Alemania como Buna N en 1930 es un copolímero del acrilonitrilo y un dieno, usualmente butadieno.

Las proporciones de los monómeros pueden variar de 80 a 20 hasta 55 a 45 partes de butadieno y acrilonitrilo respectivamente. Las propiedades de resistencia al aceite se incrementan con un aumento en el contenido de nitrilo. Para vulcanizar este tipo de hule, se pueden usar tanto azufre como otros agentes vulcanizantes. Negro de humo u otros agentes reforzantes son necesarios para obtener las propiedades óptimas. Si se usan métodos propios de procesamiento el hule nitrilo se puede mezclar con hule natural para obtener características tales como un incremento en resistencia a la tensión, mejor resistencia a los solventes y mayor resistencia a los agentes atmosféricos.

Los nombres más conocidos comercialmente para el hule nitrilo son: Buna N, Chemigum N, Hycar OR, Perbunan y Butapreno N. El hule nitrilo tiene una notable resistencia al ataque de aceites, grasas y solventes. Consecuentemente es usado en bandas transportadoras que transporten materiales con estas características.



NEOPRENO

El neopreno es uno de los primeros hules sintéticos usados comercialmente en la industria hulera. Es un polímero del cloropreno.

El azufre es utilizado para vulcanizar algunos tipos de neopreno, pero la mayoría de los neoprenos son vulcanizados por la adición de óxidos básicos como los óxidos de magnesio o zinc. Una de las características notables del neopreno es la buena resistencia a la tensión sin necesidad de agregar negro de humo. Sin embargo, el negro de humo y otras cargas pueden usarse cuando un refuerzo es requerido para el caso de utilizarse en productos que necesiten resistencia al desgarre o a la abrasión, como es el caso de las cubiertas de las bandas transportadoras.

En virtud de su notable resistencia al ozono, agentes atmosféricos, agentes químicos, aceite y la flama, el neopreno se utiliza en lugar de cualquier otro hule natural o SBR.

TABLA "9"

	Hule				
	Natural	SBE	Neopreno	Butilo	Nitrilo
Gravedad Especifica93	.94	1.23	.92	1.00
Resistencia a la Tensión (psi)					
Elastómeró puro	—3000	—1000	—3000	—1500	— 600
Reforzado	—4000	—2000	—3000	—2000	—4000
Dureza Shore A	30-100	40-100	40-95	40-75	20-100
Resistencia					
Temperatura Laboratorio de 21°C	E	B	B	P	R
Caliente	E	B	B	B	R
Resistencia al desgarre	B	P-R	B	B	R
Resistencia a la abrasión	E	B-E	E	R-B	E
Resistencia al envejecimiento por acción atmosférica	P	P	E	B-E	R
Resistencia a la oxidación	B	B	B	B-E	R
Resistencia al calor	B	R-B	B	B-E	B
Flexibilidad a bajas temperaturas.	E	B	R	R	R
Permeabilidad	R	R	B	E	E
Resistencia a la flama	P	P	E	P	P
Resistencia a ácidos diluidos	B	R-B	E	E	B
Resistencia a ácidos concentrados ..	R-B	R-B	B	E	R
Resistencia a la humedad	R-B	B-E	R	E	E
Resistencia a los solventes orgánicos.	P	P	B*	P	E
Resistencia al aceite y gasolina	P	P	B	P	E
Resistencia a aceites animales y vegetales	P-R	P-R	B	E	E
Propiedades dieléctricas	B-E	B	P-R	B-E	P

* Excepto aromáticos

CLAVE:

P—Pobre

R—Regular

B—Buena

E—Excelente

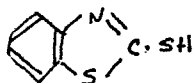
—La guanidina y la tiocarbanilida.

Los aceleradores del tipo ácido representan a los que se utilizan más frecuentemente y pueden dividirse en diferentes grupos químicos de la siguiente forma:

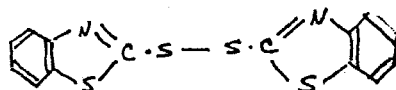
- Tiazoles
- Sulfenamidas
- Tiuramos
- Ditiocarbamatos
- Xantatos

Sólo se verá en este trabajo el primer miembro de la familia de los tiazoles, el mercaptobenzotiazol, que fue descubierto por C W Bedford en el año de 1921, el cual encontró que la tiocarbanilida, debido a la presencia de mercaptobenzotiazol, era más activa como acelerador al calentarse junto con azufre. El primer efecto que se observó cuando se utilizó el mercaptobenzotiazol como acelerador, además del efecto de reducir el tiempo de curado, fue una mejoría en el proceso de envejecimiento de los productos vulcanizados.

Cuando se usa MBT en el proceso del caucho a temperaturas mayores de 100°C, se desarrolla una excelente acción peptizante. El bisulfuro de dibenzotiazilo puede producirse por la oxidación del mercaptobenzotiazol (MBT). Como acelerador tiene menos efectos nocivos que el MBT y puede considerarse como el primer acelerador de acción retardada.



2. MERCAPTOBENZOTIAZOL
(MBT)



BISULFURO DE DIBENZOTIAZILO
(MBTS)

4.—ACTIVADORES

Para llevar a cabo el efecto de aceleración de la vulcanización es necesario el empleo de substancias que actúan como activadores; ejemplos de estas substancias son el óxido de zinc, de calcio, de plomo y magnesio. Para que un activador actúe debe estar en presencia de ácidos grasos, los cuales lo hacen soluble en el hule.

El óxido de zinc, que es el activador usado más comúnmente reacciona con el ácido graso (como ácido esteárico, o el que ya lleva el hule) formando un jabón de zinc el cual puede disolverse en el hule; el jabón de zinc reacciona con el acelerador, formando compuestos complejos del tipo polisulfuro y liberando azufre activo que reacciona con el hule.

vados fenólicos tienden a absorberse en el negro de humo, y como consecuencia se reduce el poder antioxidante.

Las aminas y sus derivados se dividen convenientemente en los siguientes grupos:

- Los productos de la condensación de las cetonas con las aminas.
- Los productos de la condensación de los aldehídos con las aminas.
- Las aminas aromáticas secundarias.

Estos productos de condensación no deben considerarse como entidades químicas. En algunos casos, las impurezas presentes, es decir, los compuestos que no reaccionaron, tienen efectos importantes y benéficos. Debido a esto, es difícil dar una descripción química y aún en la actualidad, en que existen diferentes formas físicas de los materiales para la industria del caucho, no es fácil definir la apariencia física. No obstante, cada fabricante mantiene su producción de antioxidantes dentro de una norma que requiere de límites estrechos, de tal manera que se asegure la uniformidad del funcionamiento técnico.

6.—PEPTIZANTES

Generalmente, el caucho natural y el caucho SBR son demasiado duros y rígidos para que puedan someterse a proceso sin que tengan cierto grado de masticación. La clase de materiales conocida con el nombre de peptizantes permiten que la masticación se lleve a cabo en forma eficiente, cuando se dispone para esta operación de los aparatos de mezclado interno, y considerando que el enfriamiento sea restringido en tal forma que se logren temperaturas de aproximadamente 149-177°C en el lote antes del vaciado. Uno de los aceleradores que siempre se ha utilizado, o sea el MBT, ha quedado incluido dentro de los agentes peptizantes de mayor eficiencia en el caucho natural, cuando se le aplica en estas condiciones en una proporción de 0.25 partes por 100 el hidrocarburo caucho. Tal parece ser que actúa únicamente como catalizador, ya que después del efecto de peptización también es capaz de actuar en forma normal en la aceleración del proceso de vulcanización. De este modo, no se implica el costo del agente de peptización. Sin embargo, cuando es necesario el uso de los negros de humo resistentes a la abrasión, el MBT se considera como un aditivo con propiedades de chamuscado excesivo, el cual aún en concentración de 0.25 partes por 100 de hidrocarburo caucho puede llegar a provocar dificultades.

Los agentes de peptización específicos, generalmente del tipo de los mercaptanos o los tiofenoles clorados, son eficientes en proporciones hasta de 0.1 partes por 100 del hidrocarburo caucho, siempre y cuando la masti-

a esto, es necesario lograr un alto grado de dispersión. Para el caucho natural, el caucho SBR, los cauchos nitrilados y los cauchos butílicos, las cargas de refuerzo más importantes son los diferentes tipos de negros de humo, cuya variedad incluye desde los térmicos blandos hasta los de grado de reforzado superior que se obtienen en los procesos de horno con aceite.

9.—FUNGICIDAS

Las bandas transportadoras que llevan lonas de algodón y que trabajan en condiciones húmedas, pueden tener problemas debido a descomposición por el moho. Es posible utilizar diferentes fungicidas que pueden añadirse al caucho sin que se afecten adversamente sus propiedades, pero que inhiben el desarrollo de los hongos y el moho.

Habiendo viseto los diferentes materiales que entran en la formación de un compuesto, se expone a continuación un cuadro que explica esquemáticamente la función específica de cada material:

Elastómero crudo	}	Principal material en función del cual se escogen los demás materiales.
Agente vulcanizante		}
Acelerador		
Activador		
Peptizantes	}	Auxiliares de proceso.
Reblandecedores		
Agentes reforzantes	}	Determinantes de calidad del hule terminado.
Antioxidantes		
Fungicidas		

B) LONAS

Las lonas más usuales en bandas han sido durante bastante tiempo de algodón. Estas lonas son usualmente tejidas con alrededor de 60% de su peso correspondiendo a los hilos longitudinales (matriz). Más recientemente se han utilizado fibras sintéticas como rayón, nylon y poliéster (para refuerzos muy grandes se han utilizado bandas con armazón de cable de acero).

En México ha tenido mucha aceptación la lona de nylon, que ha mostrado grandes propiedades para trabajar en todo tipo de condiciones.

Algunas propiedades de las diferentes fibras son mostradas en la tabla 10.

Además de las fibras mencionadas se usan lonas en las que hay combinación de diferentes fibras: algodón-rayón, algodón-nylon o rayón-nylon. Estas combinaciones se realizan para obtener propiedades especiales tales como resistencia a la tensión longitudinal, resistencia a la tensión transversal, mayor flexibilidad, etc.

Las lonas de rayón son más resistentes que el algodón, con un menor peso, grueso, estiramiento y costo. Esto permite la opción de una banda más angosta o una banda más flexible transversalmente y con el mismo nivel de tensión que una banda de algodón. Una desventaja del rayón es que se pierde resistencia a la tensión si el tejido absorbe humedad.

El nylon es un material que tiene una resistencia a la tensión muy alta. Debido a sus características de elongación (ver tabla 10) absorbe impactos fuertes de la carga y estabiliza la tensión a lo largo de todo el transportador.

El poliéster tiene una resistencia a la tensión ligeramente menor que el nylon. Tiene una resistencia excelente a la abrasión y a la fatiga. Tiene excepcionales características contra el enmohecimiento y baja absorción de humedad.

En ocasiones se usa fibra de vidrio como aislante para proteger de altas temperaturas a armazones de algodón o rayón.

Según las características de servicio de la banda se elige la lona adecuada al menor costo.

CAPITULO IV

MANUFACTURA DE LAS BANDAS TRANSPORTADORAS

Para llegar al proceso de vulcanización de las bandas transportadoras, se realizan importantes etapas previas, que modifican las materias primas utilizadas para conformar finalmente el artículo listo para vulcanizar.

Por medio de un esquema (Figura 2) se pueden mostrar en forma evidente los pasos que se siguen para fabricar las bandas transportadoras desde las materias primas hasta el producto terminado (en este esquema se supone que el elastómero utilizado es hule natural; para otros hules sintéticos se parte de la etapa de masticación).

1.—LATEX

El látex se obtiene por sangría de la corteza de varios árboles cau-chíferos, especialmente de la especie *Hevea brasiliensis*. La sangría se realiza separando una capa delgada de la corteza mediante cortes de izquierda a derecha en una longitud equivalente a la tercera parte de la circunferencia del árbol. En el extremo inferior del corte se fija una taza que prácticamente se llena de látex en el transcurso de pocas horas. La sangría se repite cada día. El rendimiento medio de una hectárea durante un año es del orden de 250 Kg. de caucho, aunque en plantaciones con árboles de gran rendimiento se pueden recoger hasta 800 Kg. por hectárea.

No debe confundirse el látex con la savia, y de hecho el árbol puede quedar seriamente mutilado si el corte de la sangría es tan profundo que juntamente con el látex salga la savia.

2.—COAGULACION

El látex tiene características básicas al hacerse la sangría. La coagulación se lleva a cabo agregando ácidos como el acético o el fórmico a grandes tanques que contienen el látex. Los ácidos actuando con carga de signo contrario al de las partículas la rebajan a un grado tal, que no tienen fuerza para afianzar la estabilidad de esta disposición. La adición de ácido al látex provoca un descenso del pH, llegando así al punto iso-

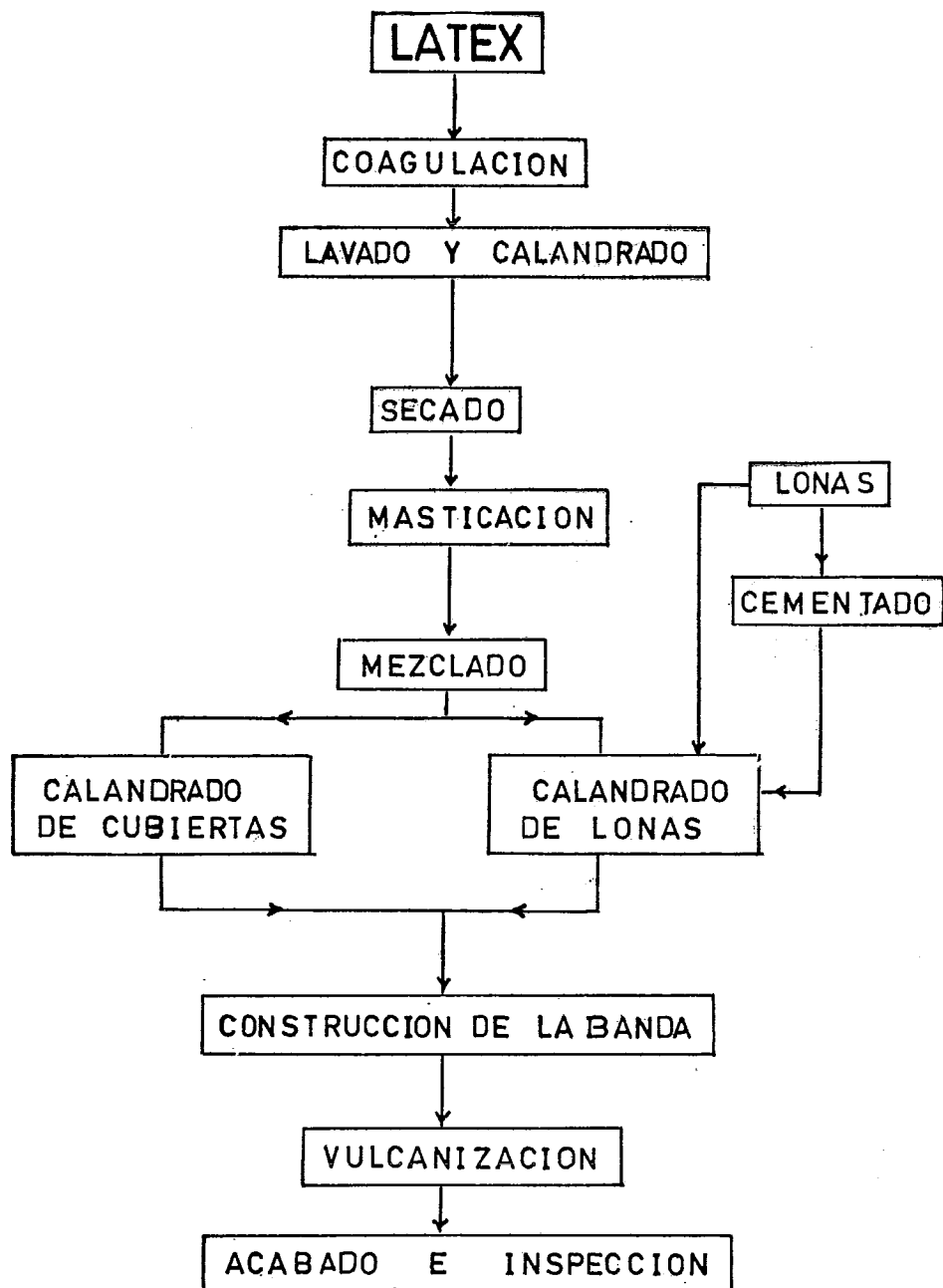


figura 2

4.—CREPE PALIDO

En la obtención del crepé pálido, al látex que se recibe en la fábrica se le añade bisulfito de sodio y se le diluye; esto se traduce en un blanqueo de los materiales anexos al hule. La coagulación se lleva a efecto de la misma forma que en las hojas ahumadas, pero no es necesario usar separadores para formar las hojas. Un transportador de cangillones se puede usar, y los trozos obtenidos cortados. El hule coagulado se pasa por una serie de molinos para lavarlo y eliminar la mayor cantidad de suero posible. Los rollos finales tienen una apariencia tersa. Se obtiene una hoja muy delgada de crepé que es colgada para secarse a la temperatura atmosférica.

COMPOSICION FINAL DE HULES CRUDOS

	Hoja Ahumada	Crepé
Humedad	0.61	0.42
Extracto acetónico	2.89	2.88
Prótidos	2.82	2.82
Cenizas	0.38	0.30
Hule	93.90	93.58

5.—MASTICACION

Generalmente, éste es el primer proceso que sufren los hules naturales y sintéticos, mediante el cual se consigue el ablandamiento y y plastificación de los hules para que éstos puedan incorporar los demás ingredientes de la formulación. Este trabajo se efectúa en molinos abiertos o cerrados (Banbury), y consiste en el paso de los materiales entre dos rodillos que pueden tener velocidades diferentes para conseguir un mejor efecto de masticación; los molinos cerrados tienen molinos de calentamiento o enfriamiento, así como un sistema de opresor el cual fuerza a los materiales por abertura entre los rotores para conseguir más eficiencia en el proceso. Este proceso de masticación se puede acelerar utilizando agentes peptizantes. La masticación se puede hacer también en un platificador Gordon, que es similar a una extrusora en la que la masticación se efectúa por la agitación producida por el husillo.

6.—MEZCLADO

Esta operación tiene por objeto el obtener una absoluta dispersión de todos los ingredientes en el hule; es de importancia especial en el proceso

CALANDRADO DE CUBIERTAS

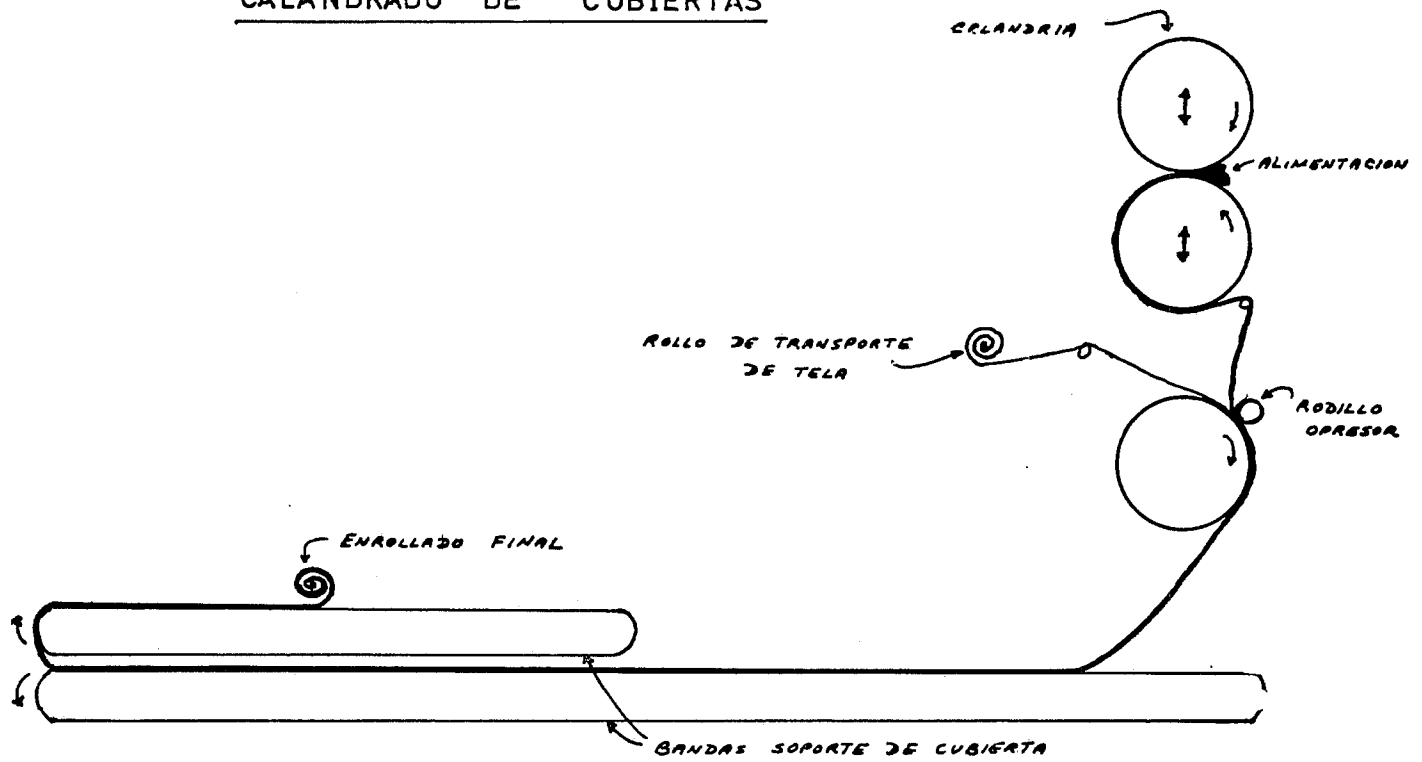


FIGURA 3

atos dispersables en agua que se pueden utilizar en dispersiones acuosas, ya sea solos o con látex, para conferir pegajosidad antes de la vulcanización.

9.—CALANDRADO DE LONAS

Esta etapa de manufactura es similar a la explicada en calandrado de cubiertas, y por medio de ella se hacen pasar las diferentes lonas (previo cementado si es necesario) a través de rodillos giratorios que adhieren el hule a los tejidos en dos diferentes formas:

a) Fricción.—Se obtiene esta aplicación de hule, cuando los rodillos tienen velocidades diferentes; no se aumenta el grosor de la lona tratada ya que el hule adicionado se introduce entre los intersticios del tejido.

b) Hule cojín o "Skim".—Se hace pasar la lona a través de los rodillos que giran a igual velocidad y a aberturas específicas según el servicio de la banda y el lugar que ocupe en el conjunto del armazón. Aumentan considerablemente el grueso de la lona tratada.

En la figura 4 se puede observar un diagrama simplificado de una calandria para lonas y cuerdas.

10.—CONSTRUCCION DE LA BANDA

Una vez calandradas las lonas y las cubiertas, se envían a la Mesa de Construcción; aquí se lleva a cabo la etapa de construcción de la banda. Se van empalmando las capas de lona de acuerdo a los requerimientos de la banda, para obtener finalmente el número y colocación adecuada de las capas. Como se indicó anteriormente, al conjunto de capas ensambladas es a lo que se llama armazón. Cuando ya se ha construido el armazón se colocan las cubiertas de hule del espesor especificado.

11.—VULCANIZACION DE LA BANDA

Para llevar al cabo la vulcanización de bandas transportadoras se han ideado prensas de grandes dimensiones para poder vulcanizar tramos largos y hacer lo más rápido la operación de vulcanizado.

Las prensas de vulcanización se pueden diseñar a diferentes largos y anchos, los cuales se eligen después de una investigación del mercado del país. La demanda actual de bandas transportadoras en México, a grandes rasgos, hace necesario el uso de prensas para bandas hasta de 60" de ancho.

CALANDRADO DE LONAS

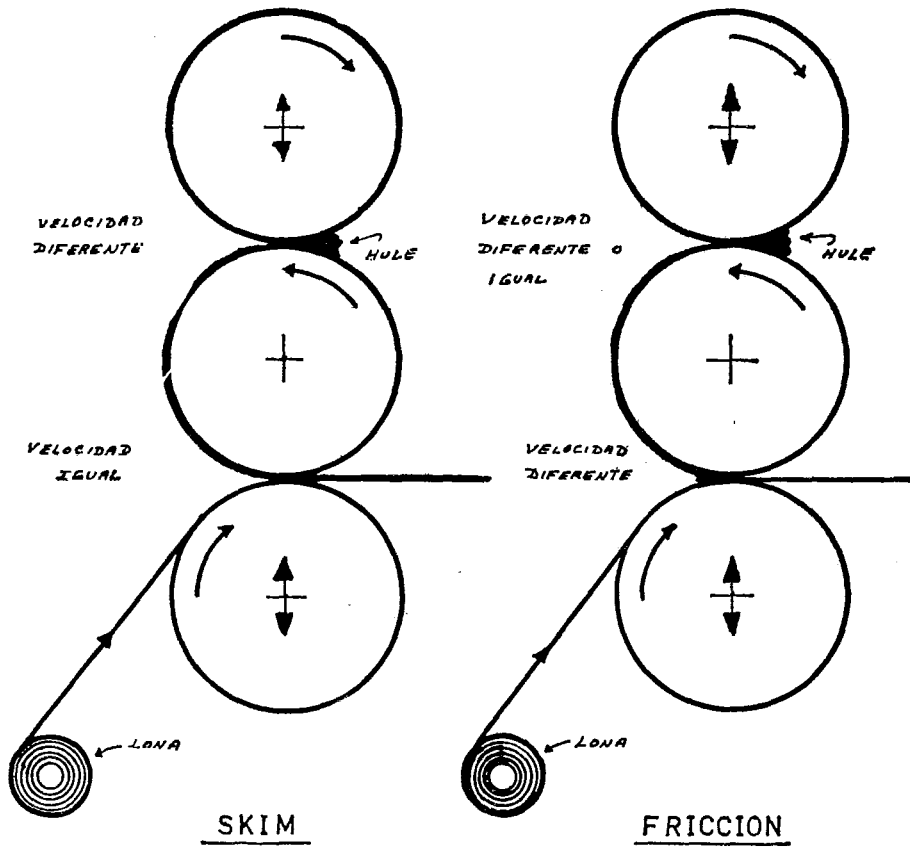


figura 4

zona defectuosa en cada carga, debido al flujo del hule hacia afuera de la prensa por efecto de la presión. Es muy importante que se mantenga la circulación correcta de agua fría en estos tanques para evitar este tipo de defectos.

Como se veía en el Capítulo I, al tratar sobre las partes de una banda transportadora, pueden haber dos tipos de cantos: cantos moldeados y cantos cortados. Siguen dos variantes al vulcanizar. En el caso de cantos moldeados es necesario colocar a las orillas de la banda un conjunto de "guías", o sea una especie de barras de hierro que se dejan a un ancho determinado el cual se fija perfectamente; la figura 6 muestra la forma en que quedan las "guías" dentro de la prensa; esta figura corresponde a un corte seccional de la prensa.

Como se puede apreciar, las guías y las platinas forman una especie de molde. Se tiene un conjunto de guías para rellenar adecuadamente las platinas y tener el ancho y grueso necesarios para cada tipo especial de banda. Las guías que están en contacto con las orillas de la banda deben ser más delgadas que el grueso de la banda, para que la presión se ejerza sobre la banda y de esta manera se moldee adecuadamente. Queda por tanto una rebaba de hule angosta que se elimina posteriormente.

Para el caso de las bandas con cantos cortados, hay una variante en el sistema de colocación de guías; se colocan tocando las orillas de la banda pero sin ajustar a un ancho determinado, sino dejando libres las guías laterales. Esto se hace ya que como se van a cortar las orillas de la banda (desecho), no es necesario que queden perfectamente moldeados los cantos. En este caso la función de las guías es la de moderar la presión para que no haya un adelgazamiento exagerado de la banda.

Las cargas se deben introducir rápidamente para evitar una prevulcanización en ausencia de presión.

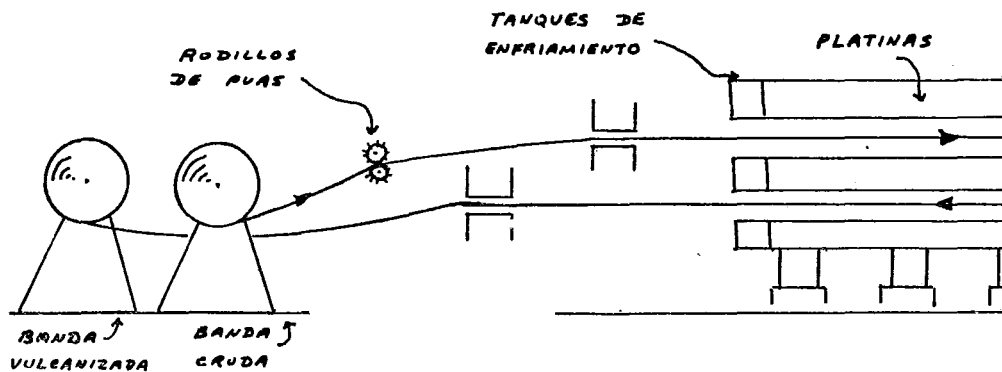
Para evitar ampollas en cubiertas antes de entrar cada carga a la prensa se pasa entre dos rodillos de púas.

12.—ACABADO E INSPECCION

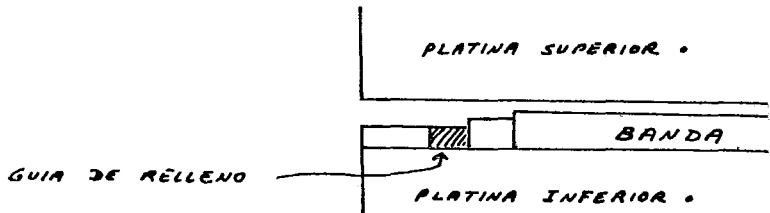
Una vez vulcanizadas las bandas con cantos moldeados están listas para su venta previa inspección de calidad.

Las bandas de nylon que llevan cantos cortados, después de vulcanizar se pasan a una mesa en la cual se coloca un dispositivo que corta las orillas de la banda, aproximadamente de una pulgada a cada lado; más tarde pasa a inspección y entrega.

PRENSA DE VU.



figura



figura

CAPITULO V

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA VULCANIZACION

A) MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE VULCANIZACION

Con respecto al tiempo la vulcanización ocurre en tres etapas:

- a) Periodo de inducción.
- b) Vulcanización o etapa de formación de enlaces.
- c) Etapa de reversión o sobrevulcanización.

El periodo de inducción como la palabra lo sugiere representa el intervalo de tiempo, a la temperatura de vulcanización, durante el cual únicamente disminuye la viscosidad de la mezcla de elastómero e ingredientes, pero no se obtiene reacción propiamente dicha.

Siguiendo el periodo de inducción ocurre el periodo de enlaces cruzados o vulcanización a una velocidad que depende de la temperatura y de la naturaleza de la composición.

Para el caso de bandas transportadoras la tendencia es lograr una velocidad máxima de vulcanización por carga, pero sin llegar a límites en los cuales haya peligro de chamuscado en las partes más cercanas a la fuente de calor, es decir, las platinas de la prensa.

La velocidad promedio de vulcanización puede ser considerada como el inverso del tiempo requerido para llegar a una vulcanización completa. Así, una banda que llegue a su vulcanización completa en 20 minutos a 140°C tiene una vulcanización más rápida que otra banda que llega a su vulcanización completa a los 40 minutos a 140°C.

En bandas transportadoras que utilizan un procedimiento de vulcanización seccional como el indicado en el capítulo anterior, se presenta una etapa de sobrevulcanización en cada carga en una zona que recibe inevitablemente dos ciclos de vulcanización. Por otro lado, en el tiempo óptimo desde el punto de vista económico y de calidad del producto, es también imposible de impedir que la superficie de la banda tenga una sobrevulcanización cuando el centro de la banda apenas llega a su vulcanización óptima; este fenómeno sólo es importante en bandas muy gruesas.

1.—Métodos Químicos Para Determinar la Velocidad de Vulcanización

Puesto que en un sistema de vulcanización normal con azufre, una

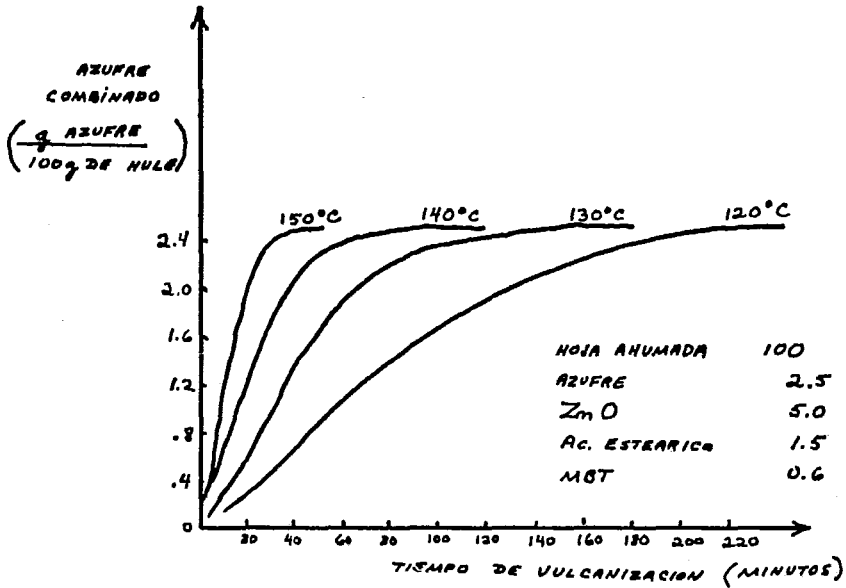


figura 7

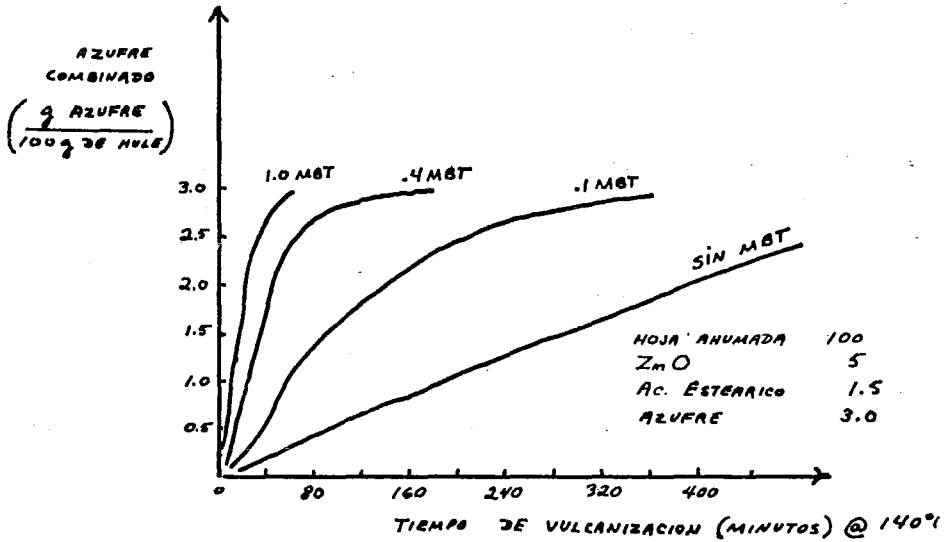
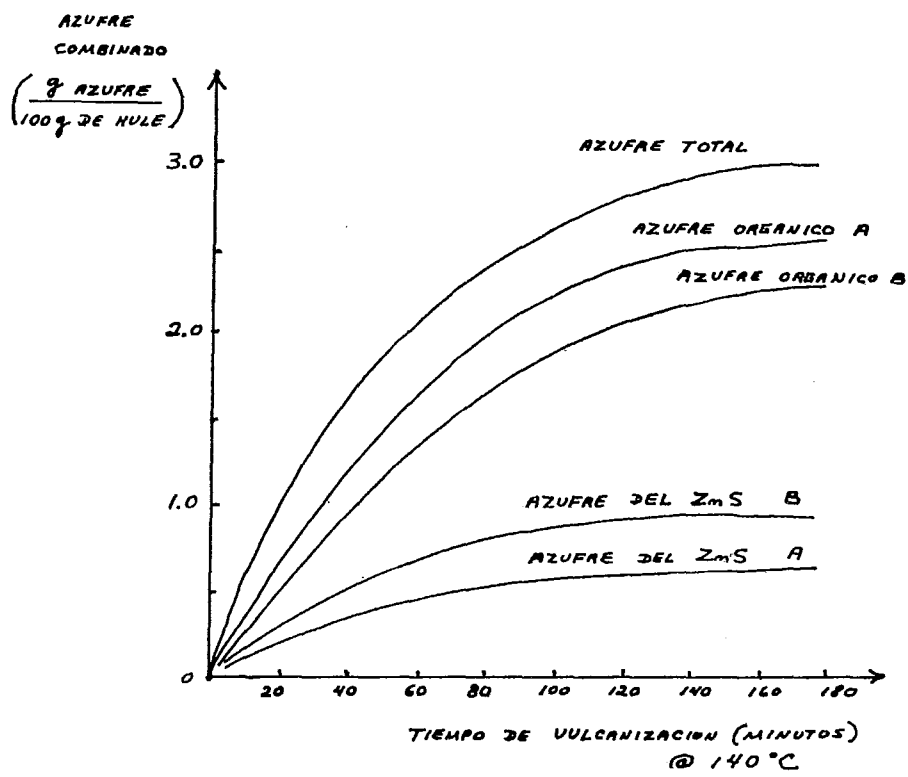
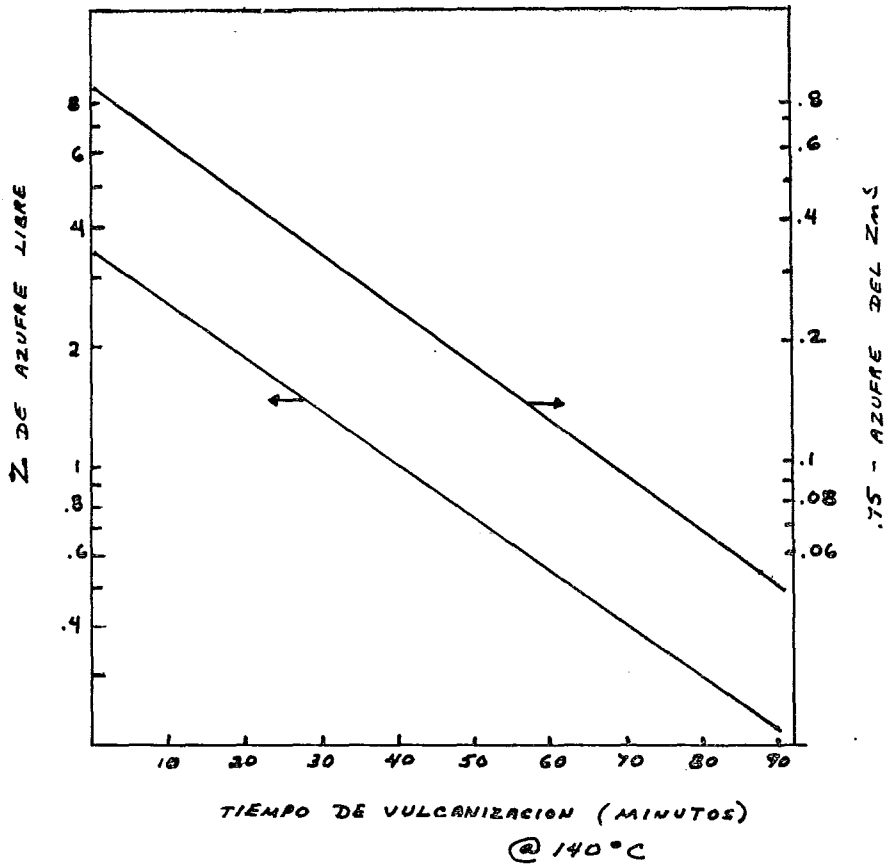


figura 8



	A	B
HULE CREPS	100	100
AZUFRE	3	3
ZmO	5	5
MBT	0.6	0.6
AC. ESTEARICO	0	3

figura 9



HULE CREPE	100
ZmO	5
MGT	0.6
Ac. ESTEARICO	3.0
AZUFRE	3.0

figura 10

k = constante de velocidad de reacción
 a = concentración inicial
 x = cantidad reaccionada en el tiempo t
 n = orden de la reacción.

Para una reacción de primer orden, la integración de la ecuación (1) da

$$\ln(a-x) = -kt + \ln a \quad (2)$$

Si una propiedad física tal como el módulo, es medida en lugar del cambio en concentración de reactantes, la ecuación de arriba puede ser modificada como sigue:

$$\ln(F_{\infty} - F) = -kt + \ln(F_{\infty} - F_0) \quad (3)$$

donde F_{∞} es el módulo máximo cuando los reactantes son agotados, F es el módulo al tiempo t , y F_0 es el módulo al tiempo cero.

Cuando n no es 1, la integración de la ecuación (1) da

$$\frac{1}{n-1} (a-x)^{1-n} = kt + \left(\frac{1}{n-1}\right) a^{1-n} \quad (4)$$

y cuando $n=2$ la anterior se reduce a

$$\frac{1}{a-x} = kt + \frac{1}{a} \quad (5)$$

Como en el caso del primer orden ($F_{\infty} - F$) puede ser substituida por a y ($F - F_0$) por x cuando el módulo es medido.

Así, si es una reacción de primer orden una gráfica del $\log(a-x)$ o $F_{\infty} - F$ contra el tiempo dará una línea recta, la recíproca de la cual es k , la constante de velocidad de reacción. Si la reacción es de segundo orden una gráfica de

$$\frac{1}{a-x} \quad \text{o} \quad \frac{1}{F_{\infty} - F}$$

contra el tiempo debería dar una línea recta, la pendiente de la cual daría K .

La evidencia disponible, basada en la velocidad de combinación del azufre o desaparición del acelerador, parece soportar el argumento de que la reacción es de primer orden. En algunos casos el orden se presenta como

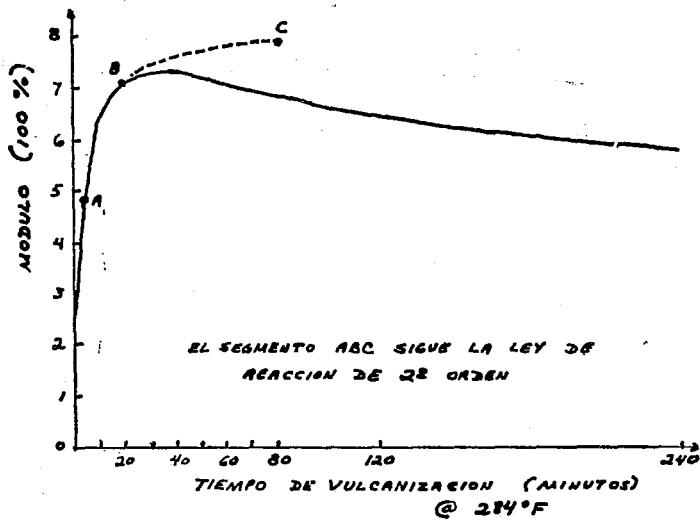


figura 11

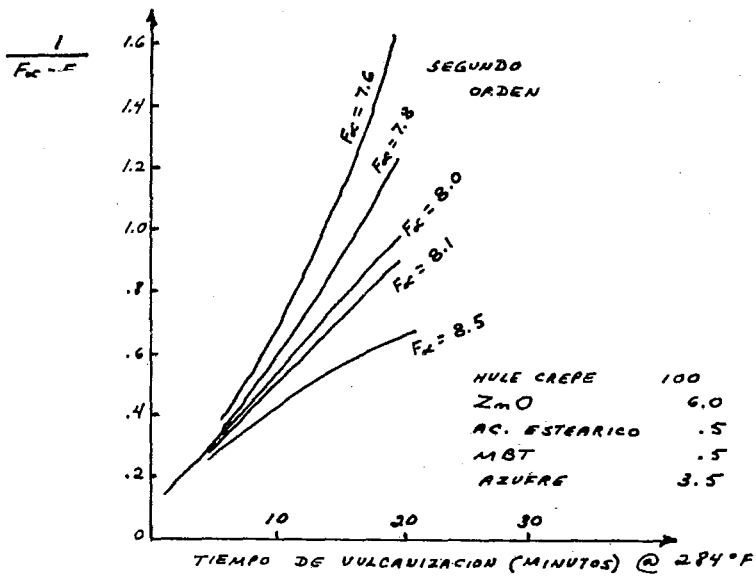


figura 12

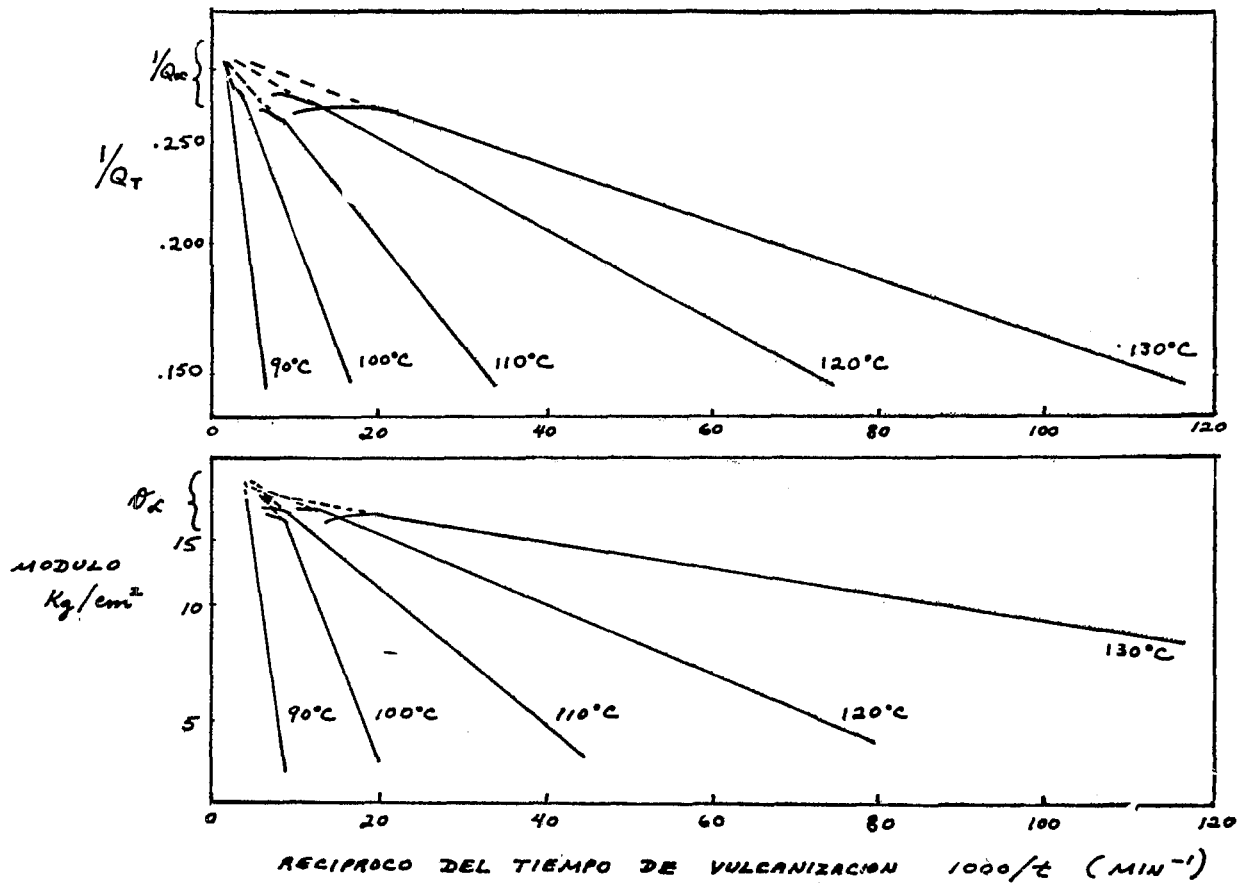


figura 13

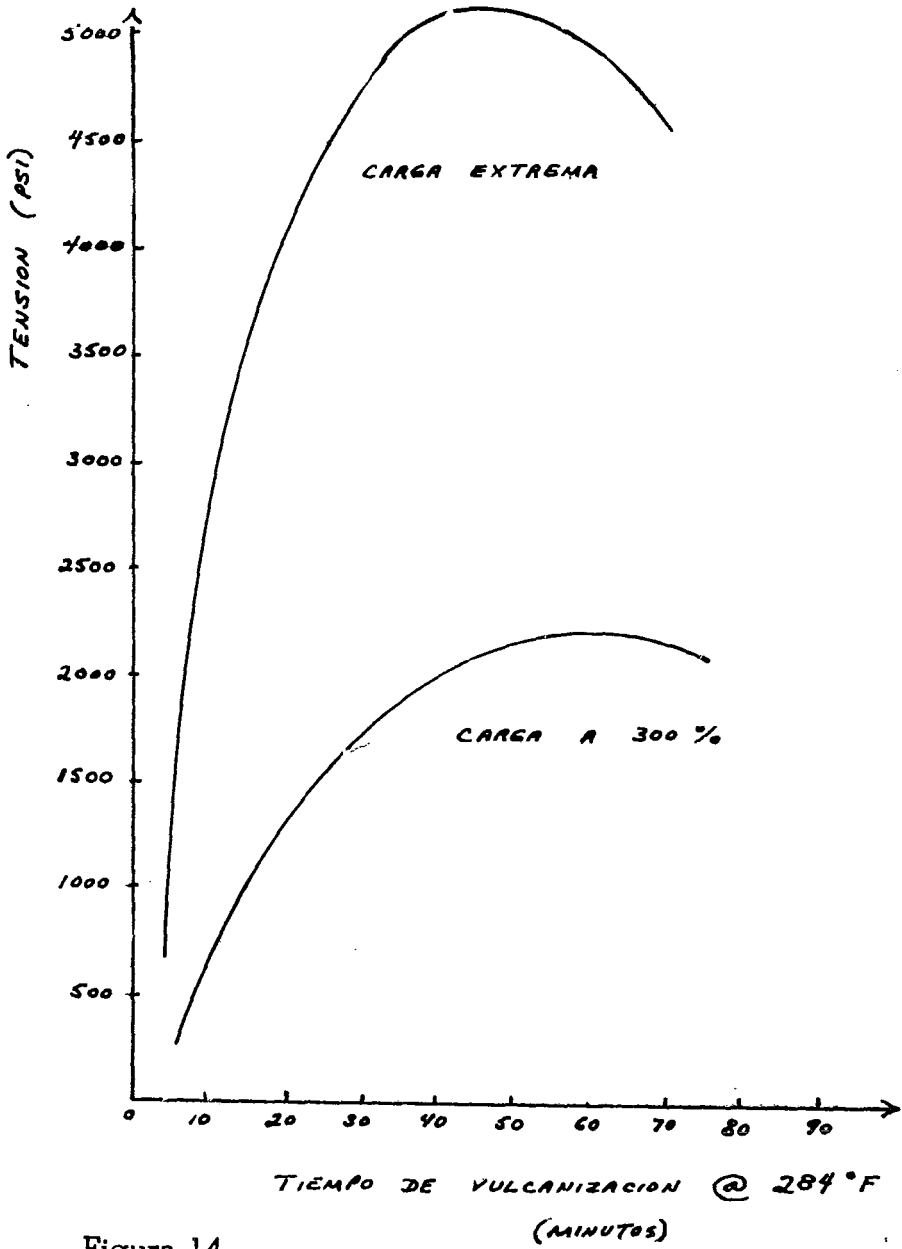
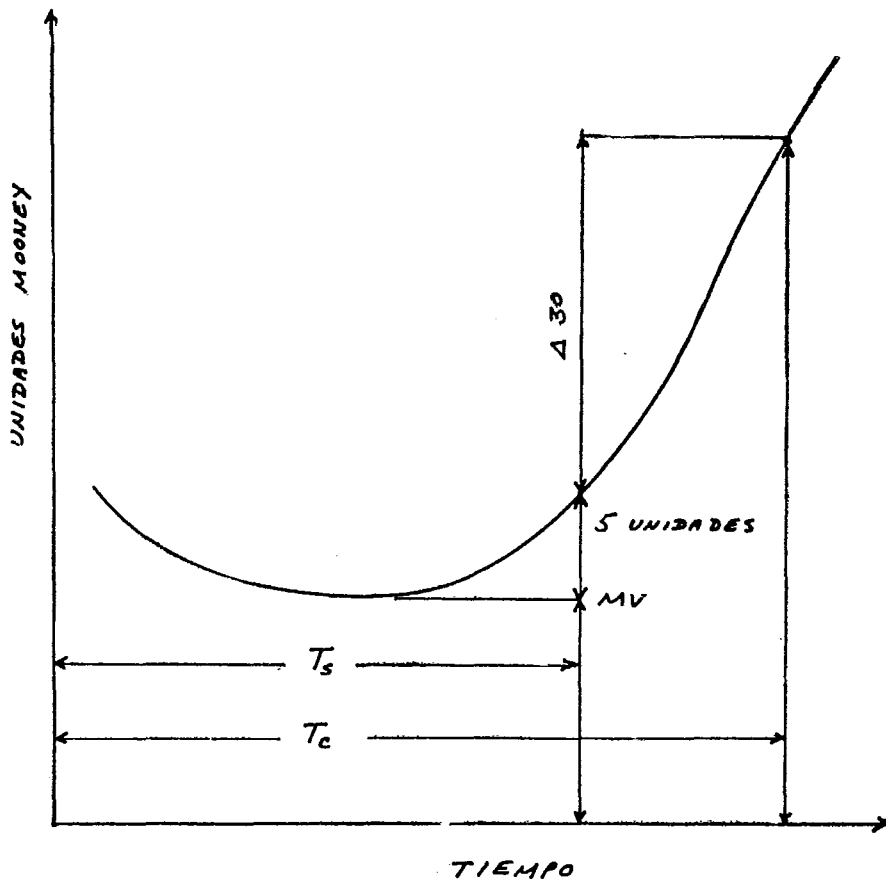


Figura 14



MV = VISCOSIDAD MINIMA

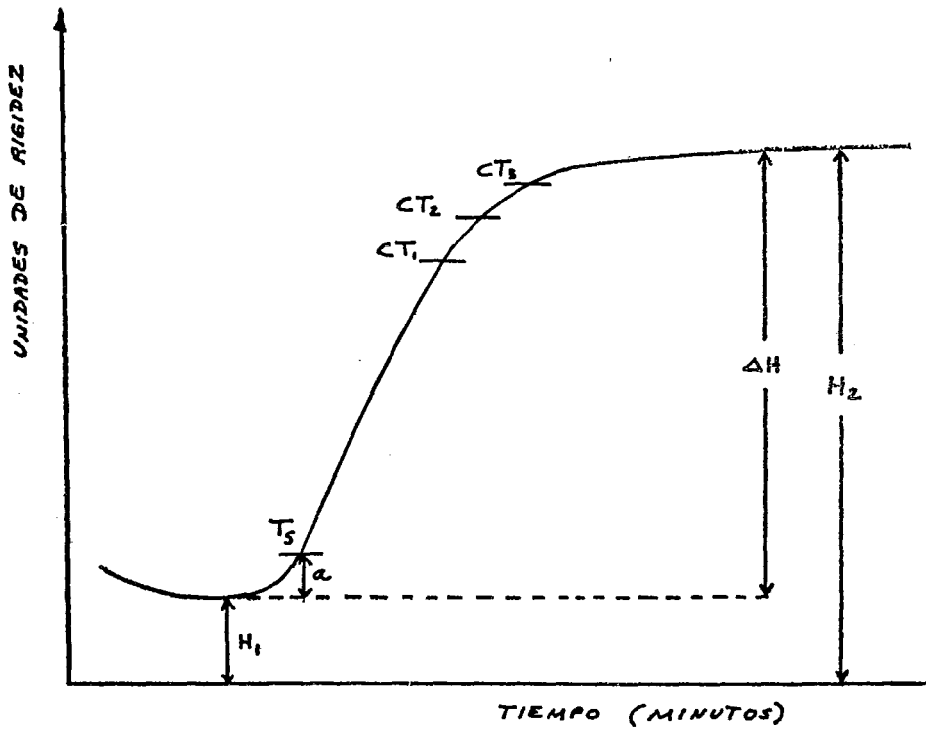
T_s = TIEMPO DE QUEMAMIENTO = $T_{MV} + 5$

T_c = TIEMPO DE VULCANIZACION = $T_s + \Delta 30$

R_c = VELOCIDAD DE VULCANIZACION = $\frac{30}{T_c - T_s} = \frac{\text{UNIDADES MOONEY}}{\text{MINUTOS}}$

$\Delta 30$ = INCREMENTO DE 30 UNIDADES ARRIBA DEL PUNTO DE QUEMAMIENTO (ESTE VALOR ES ARBITRARIO, PERO SIEMPRE DEBE SER INDICADO).

figura 15



H_1 = VALOR DE RIGIDEZ MINIMA
 H_2 = MAXIMA RIGIDEZ ALCANZADA
 ΔH = RIGIDEZ IMPARTIDA EN VULCANIZACION
 T_g = TIEMPO DE QUEMAMIENTO
 (TIEMPO PARA INCREMENTAR LA RIGIDEZ $\cdot \Delta H = (a)$)
 CT_1 = TIEMPO PARA OBTENER 70% DE ΔH
 CT_2 = " " " 80% "
 CT_3 = " " " 90% "

figura 16

de vulcanización, y luego medir las propiedades de tensión-deformación y graficar los resultados como una función del tiempo de vulcanización.

La figura 14 muestra unos datos típicos para un caso basado en hule natural, acelerado con MBT.

3.—Instrumentos Especiales Para Medir Velocidad de Vulcanización

Este tipo de instrumentos hace medidas de alguna propiedad de la mezcla durante la vulcanización en forma continua o a pequeños intervalos. Esta clase de mediciones es mucho más rápida que la mencionada anteriormente en la cual se medía tensión-deformación a una temperatura dada, pero haciendo una experimentación cada determinado intervalo de tiempo, o sea que se emplean varias muestras a las cuales se les saca tensión-deformación. Por el contrario en el caso de los instrumentos asunto de este inciso, es suficiente una sola muestra para determinar la curva de vulcanización de una mezcla dada.

En este trabajo se verán dos instrumentos para medir velocidad de vulcanización: Aparato Mooney y el Curómetro.

Aparato Mooney.—La figura 15 muestra una curva típica de la medida de la vulcanización en este aparato indicando las presentes convenciones para graficar los parámetros de vulcanización como se especifica en el método ASTM D 1646. El tiempo de quemamiento es indicado como el tiempo requerido para que la viscosidad se incremente 5 unidades con referencia a un rotor especial, y el tiempo de vulcanización es el requerido para un incremento adicional de 30 unidades después del punto de quemamiento.

El método es muy sensitivo y es capaz de mostrar los efectos de aceleradores orgánicos, activadores y retardadores, de variaciones en contenido de humedad, etc.

Además de los parámetros de velocidad de vulcanización discutidos la prueba también da una lectura de la viscosidad mínima a la temperatura empleada. Así, esta medida constituye un buen control para los trabajos de producción y es ampliamente usada, especialmente con respecto al tiempo de quemamiento.

Curómetro.—Este dispositivo mide la fuerza del golpe de una pala vibrante que se coloca entre dos muestras del mismo material. La fuerza del golpe va incrementándose a medida que aumenta el tiempo de vulcanización a una temperatura dada. La figura 16 indica la forma de las gráficas obtenidas y ya dispuestas en parámetros apropiados.

Puesto que el valor de E es crítico en la consecución de operaciones prácticas como la conversión de tiempo de vulcanización de una temperatura a otra y para la determinación del efecto de vulcanización producido durante el calentamiento y enfriamiento, es importante tener idea de cómo varía E con respecto a varios sistemas.

Determinación de la Energía de Activación.

Cualquiera de los métodos descritos anteriormente para determinar velocidades de vulcanización pueden ser usados para obtener la dependencia de la temperatura con respecto a la velocidad de vulcanización, simplemente haciendo una serie de medidas a varias temperaturas en lugar de considerar únicamente una temperatura. La figura 13 discutida anteriormente, muestra datos obtenidos por vía de módulo e hinchamiento en solventes a varias temperaturas de vulcanización. Graficando los logaritmos de los tiempos requeridos para producir alguna fracción del estado final, por ejemplo, 0.5, 0.7, 0.8, etc., contra los recíprocos de las temperaturas absolutas se obtiene una línea recta, la pendiente de la cual da E , la energía de activación. Los tiempos graficados, no son velocidades, sino recíprocos de la velocidad. Al hacer el cálculo de E por la fórmula dada arriba, este punto debe considerarse atentamente.

Para hacer el tipo de gráficas indicado en el párrafo anterior, se puede recurrir a realizar vulcanizaciones a diferentes temperaturas, y a cada temperatura hacer vulcanizaciones a tiempos sucesivamente crecientes; esto, como se puede apreciar, es una tarea muy laboriosa. Por medio de los aparatos descritos anteriormente para medir velocidad de vulcanización, se puede facilitar la recolección de los datos necesarios para hacer estas gráficas, ya que se pueden obtener en forma continua los progresos de alguna propiedad mientras se lleva a cabo la reacción a una temperatura dada. La figura 17 muestra la gráfica obtenida por medio del dispositivo ya estudiado del Curómetro.

1.—Coeficiente de Temperatura de Vulcanización

Es práctica común en la industria expresar la dependencia de la temperatura con respecto a la velocidad de vulcanización como un coeficiente de temperatura que es definido como el cociente de las veces requeridas para producir un estado de vulcanización a una temperatura y a otra temperatura 10°C más alta. Este coeficiente es suficientemente exacto para trabajos prácticos, pero se hace cada vez más inexacto al alejarse de la temperatura base de experimentación. Para ilustrar el error desarrollado, la figura 18 muestra los puntos que se obtienen para un compuesto que tiene una vulcanización base de 40' a 130°C y un coeficiente de tempe-

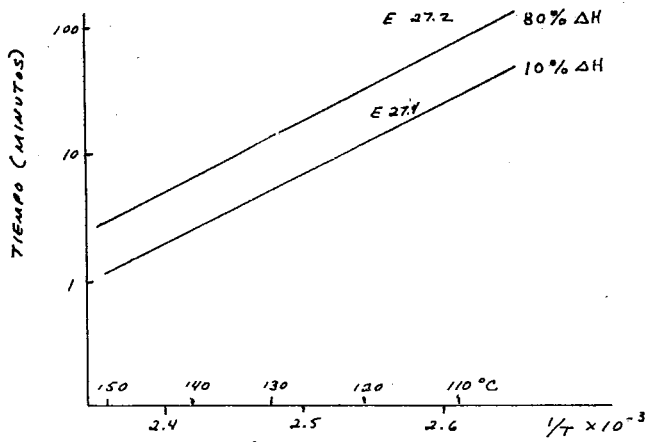


figura 17

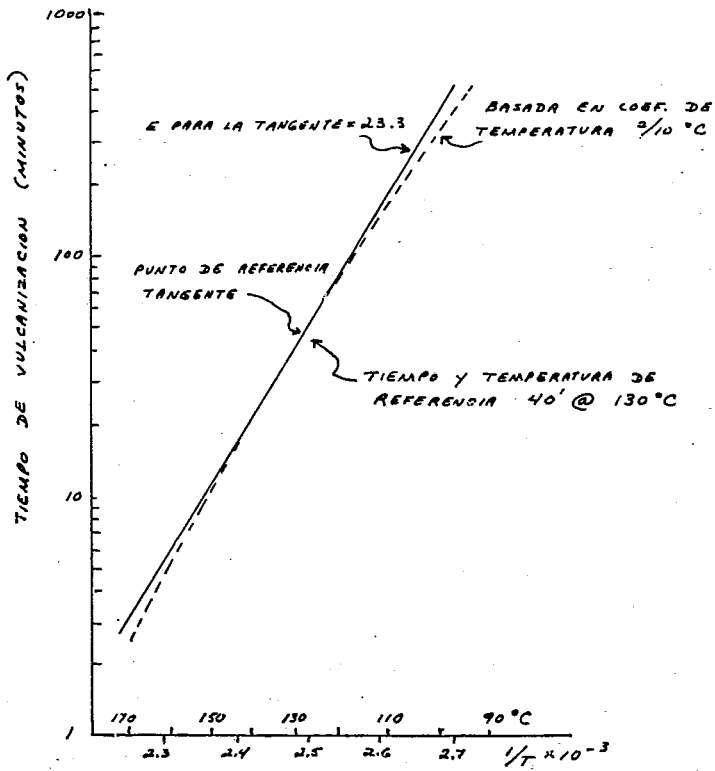
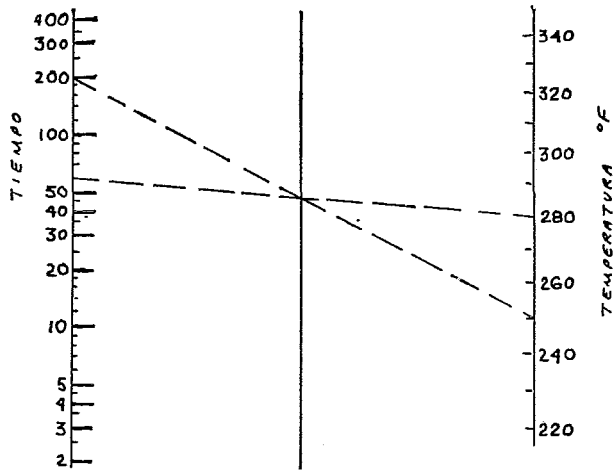


figura 18



NOMOGRAMA PARA TRANSPORTAR EL TIEMPO DE VULCANIZACION DE UNA TEMPERATURA A OTRA -

figura 19

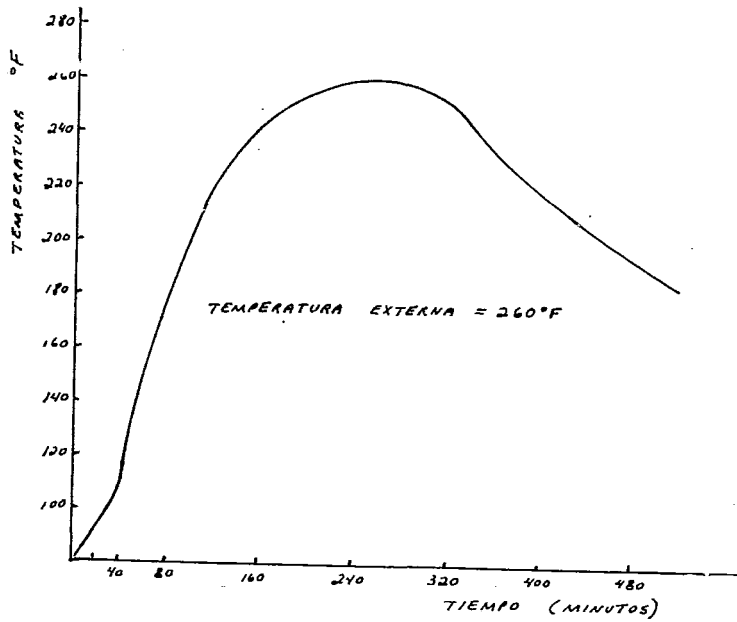
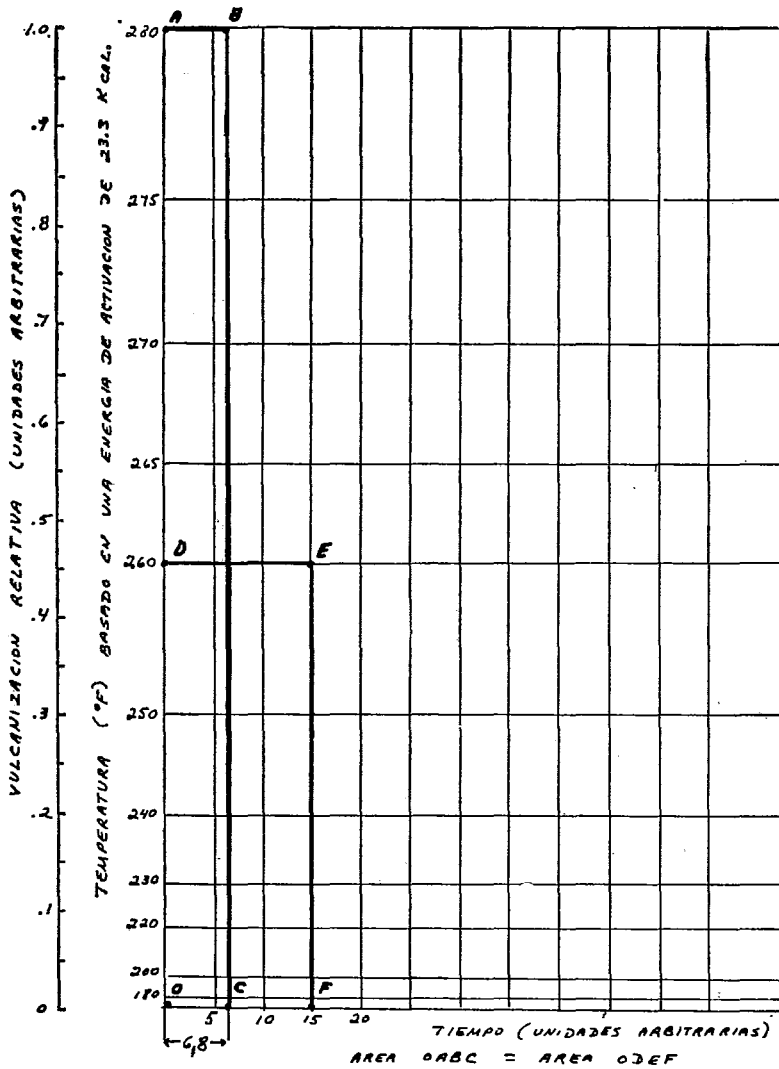
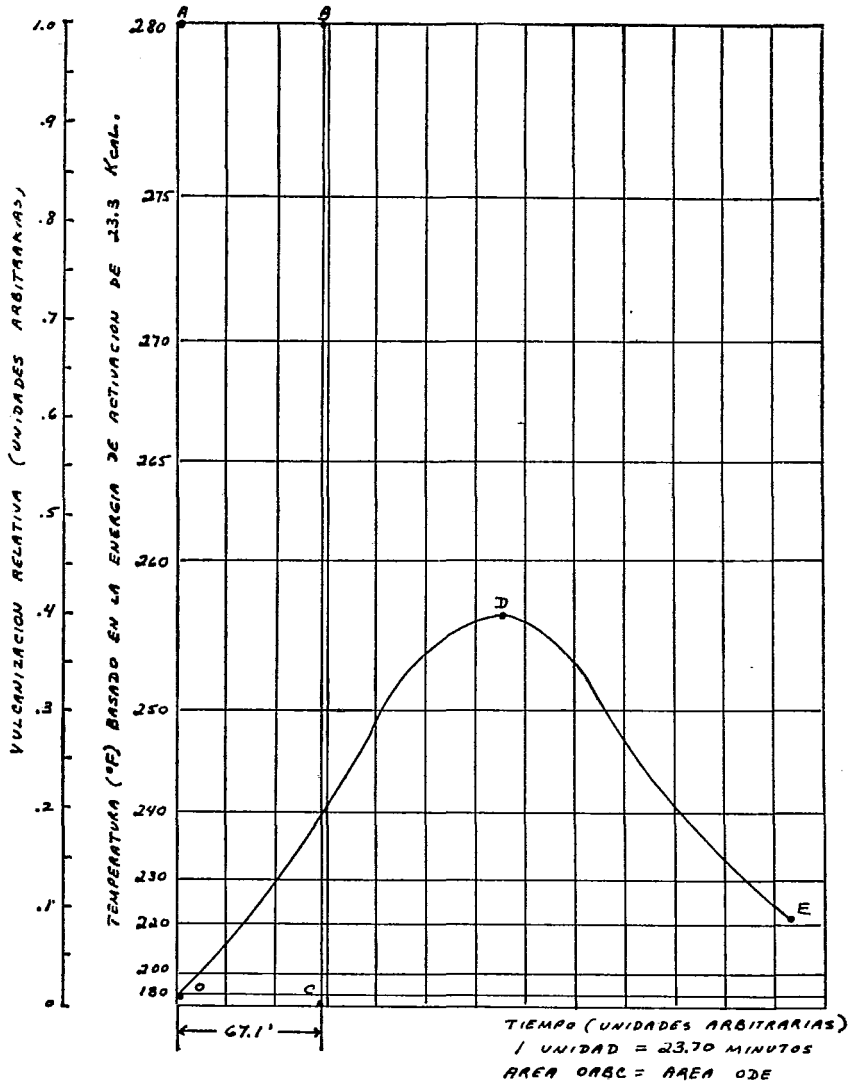


figura 20



EL AREA BAJO CUALQUIER CURVA DE TIEMPO-TEMPERATURA ES UNA MEDIDA DE LA VULCANIZACION TOTAL EN UNIDADES ARBITRARIAS. ASI, UNA VULCANIZACION DE 15' @ 260°F ES EQUIVALENTE A UNA DE 6.8' @ 280°F.

figura 21



EL AREA BAJO CUALQUIER CURVA DE TIEMPO - TEMPERATURA ES UNA MEDIDA DE LA VULCANIZACION TOTAL EN UNIDADES ARBITRARIAS. ASI, LA VULCANIZACION EN CUESTION ES EQUIVALENTE A 67.1 MINUTOS @ 280°F

figura 22

equivalente al tiempo y temperatura de este elemento. Esto se hace sobre la curva completa y los resultados son totalizados para dar el tiempo efectivo a la temperatura de referencia.

Un camino más sencillo es hacer una gráfica como la que se muestra en la figura 21 con las ordenadas indicando temperatura sobre la base de la relación exponencial así como a una energía específica de activación, en este caso 23.3 Kcal. En esta gráfica, áreas iguales dentro de cualquier curva representan iguales efectos de vulcanización. Así en esta figura el área bajo la línea recta que representa la temperatura constante de 260°F y el tiempo de 15 minutos, es igual al área correspondiente a una temperatura constante de 280°F y 6.8 minutos.

En el caso que se está considerando, la curva de tiempo contra temperatura no es una línea recta y los datos de la curva de la figura 20 se grafican en la forma indicada en la figura 22. El área bajo esta curva puede ser relacionada a un área idéntica bajo la línea de la temperatura de referencia, 280°F en este caso y el tiempo graficado adecuadamente en las abscisas.

C) CONSIDERACIONES SOBRE TRANSMISION DE CALOR EN VULCANIZACION DE BANDAS

La vulcanización de bandas transportadoras se hace como se indicó anteriormente por medio de platinas calentadas con vapor. Para bandas muy gruesas el interior de las mismas es calentado en una forma que depende de las características de la mezcla.

En realidad únicamente para bandas demasiado gruesas las propiedades térmicas de la mezcla de hule se consideran importantes. Para la gran mayoría de las bandas que se vulcanicen a temperaturas normales, la diferencia en la velocidad para alcanzar la temperatura de la fuente de calor para mezclas de hule de diferentes propiedades térmicas es despreciable.

La ecuación que gobierna el flujo de calor a través de un cuerpo es

$$Q = \frac{k A \Delta T t}{d}$$

Q=cantidad de calor

k=conductividad térmica del material

A=área transversal de flujo de calor

T=incremento de temperatura a través del cuerpo

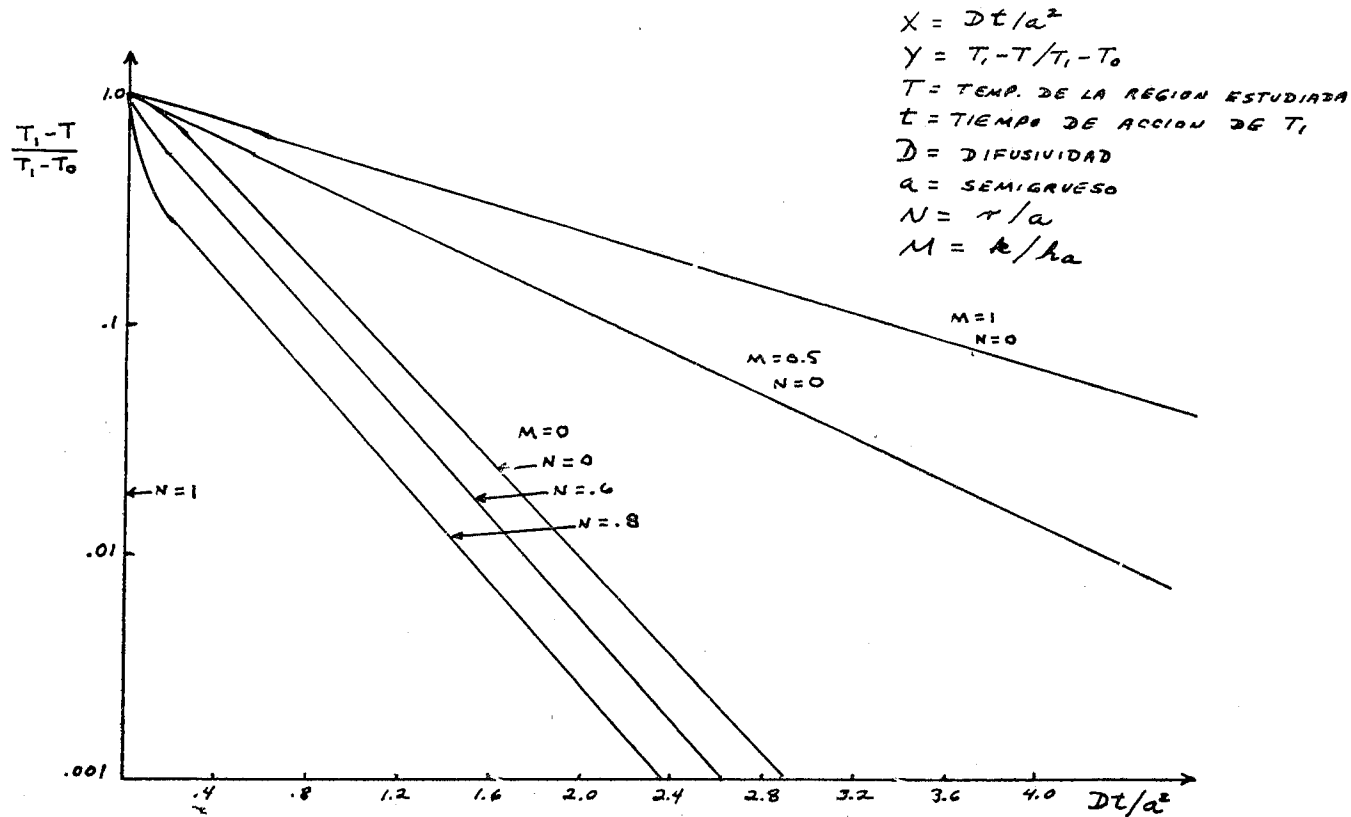


figura 23

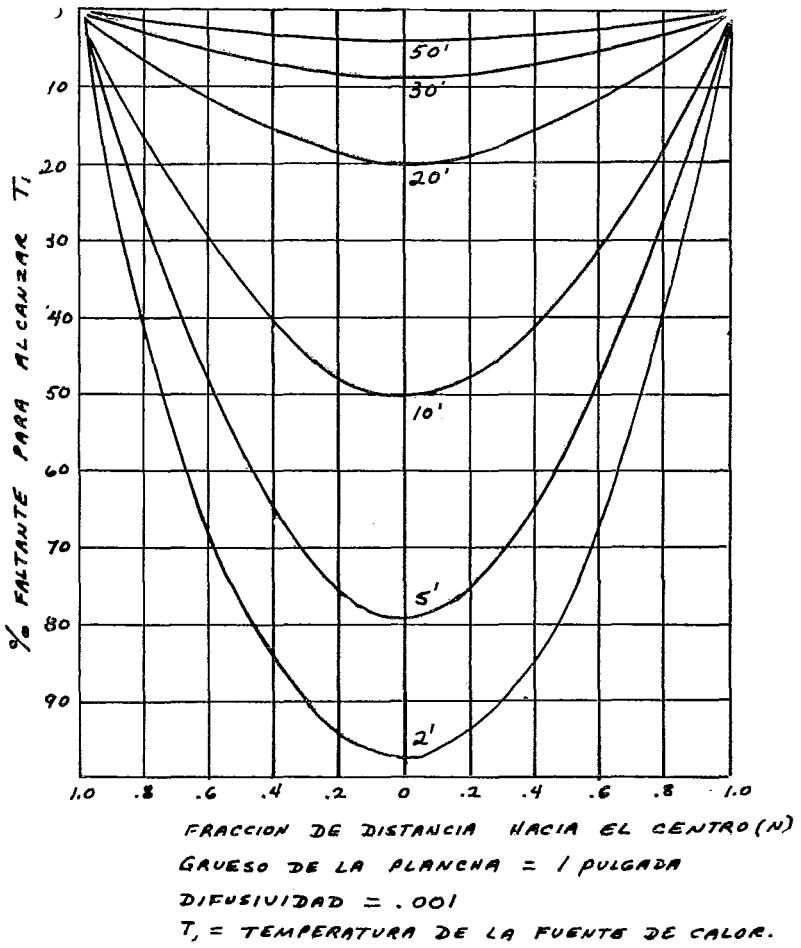


figura 24

T_0 = temperatura del material crudo

D = difusividad térmica

t = tiempo

a = distancia normal del plano medio a la superficie

k = conductividad térmica

h = coeficiente de transferencia de calor entre la fuente de calor y el sólido que se está calentando

r = distancia normal del plano medio a cualquier punto en el cuerpo.

La figura 23 muestra gráficas de cómo varía Y como una función de X para diferentes valores de M y N en planchas de hule (forma similiar a las bandas). Para superficies limpias en íntimo contacto con el hule se considera el valor de M igual a cero.

La figura 24 muestra el efecto de N y del tiempo para alcanzar la temperatura imprimida. Nótese que el hule cercano a la superficie (donde $N=1$) llega a la temperatura de las platinas muy rápidamente.

La tabla 12 da algunos datos interesantes para comparar las propiedades térmicas de materiales comunes. Es aparente que el hule tiene propiedades de conducción de calor muy pobres comparándolo con los metales.

TABLA 12

**PROPIEDADES TERMICAS DE PLANCHAS DE VARIOS
MATERIALES DE UN PIE DE GRUESO**

SUBSTANCIA	k (egs)	Densidad	Calor Específico	Capacidad Calorífica	Difusividad	D/k
Hule Vulcani- zado	38×10^{-5}	1.13	0.40	0.45	84×10^{-5}	2.21
Hierro	0.111	7.7	0.12	0.92	0.121	1.09
Acero	0.107	7.8	0.12	0.94	0.114	1.06
Aluminio	0.492	2.56	0.22	0.56	0.878	1.78
Cobre	0.908	8.93	0.093	0.83	1.09	1.20
Hule Crudo Natural ..	37×10^{-5}	0.93	0.50	0.47	78.7×10^{-5}	2.1



CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Se han tratado a lo largo de este trabajo diferentes aspectos acerca de la fabricación de bandas transportadoras. En la práctica, en una compañía que manufacture estos productos tienen que tomarse en cuenta muchos factores que en definitiva tienen su principal cristalización en el aspecto económico; se tiene que cuidar la calidad del producto, el costo de fabricación, la capacidad de producción, la eficiencia de equipo, el desarrollo de nuevas técnicas y productos, el control de producción, etc.

Quizá uno de los principales aspectos que se traducen en ganancias económicas es el proveniente del trabajo realizado por el Departamento de Desarrollo. Este departamento es el que, tomando en cuenta aspectos, tales como los tratados en esta tesis —es decir, los fenómenos químicos producidos, el proceso de manufactura, las propiedades mejorables de las materias primas, etc.— trata de vislumbrar algún avance que se pueda cuantificar; la manera más atrayente en la industria de cuantificar es precisamente la económica.

En este sentido, hay varios campos que se pueden explotar para lograr avances en eficiencia:

a) Disminución en el tiempo de mezclado de los hules con los ingredientes indicados en el Capítulo III mediante modificaciones en las formulaciones.

b) Aumento en la velocidad de calandrado de lonas mediante el desarrollo de compuestos procesables a temperaturas moderadas.

c) Mejoras en el equipo (ilustrado a grandes rasgos en el Capítulo IV) que permitan disminuir costos y aumentar capacidad de producción.

d) Estudio de lonas con mayor resistencia que permitan la fabricación de bandas con menos capas pero con la misma tensión de diseño.

e) Investigación de compuestos más baratos mediante cambios de los ingredientes de las formulaciones.

f) Pruebas por realizar con diferentes aceleradores para lograr la velocidad óptima de vulcanización.

B I B L I O G R A F I A

- 1) Chemistry of Natural and Synthetic Rubbers.
Harry L Fisher
Reinhold Publishing Corporation, New York. 1957.
- 2) Engineering Uses of Rubber.
Archibald T. Mc Pherson
Reinhold Publishing Corporation, N. Y. 1956.
- 3) Handbook of Belting, Conveyor and Elevator.
The Goodyear Tire & Rubber Company, Inc. 1953
- 4) Principles of Physical Chemistry .
S H Maron & C F Prutton
The Mac Millan Company, N. Y. 1964.
- 5) The Vanderbilt Rubber Handbook.
Ed. by
R T Vanderbilt Co Inc. N. Y.
- 6) The Applied Science of Rubber.
W J S Naunton.
Edward Arnold (Publishers) Ltd. 1961.
- 7) Plastics and Rubber.
Edward W Duck
The Butterworth Group, London 1971.
- 8) Chemical Engineer's Handbook.
John H Perry.
Mc Graw Hill Book Co. N. Y. 4a. Edición.
- 9) What Every Engineer should know about Rubber.
W J S Naunton
Malayan Rubber Fund, Board, 1968.
- 10) Textbook of Polymer Science.
Fred W Billmeyer Jr.
John Wiley & Sons, Inc. 1971.
- 11) Polymer Processes.
Calvin E. Schildknecht
Interscience Publishers Inc. N. Y. 1956.
- 12) Introduction to Rubber Technology
Maurice Morton
Reinhold Publishing Corp. N. Y. 1959.
- 13) Synthetic Rubber.
G S Whitby, C C Davis and R F Dunbrook
John Wiley and Sons, N. Y. 1954
- 14) Conveyors and Related Equipment.
Wilbur Hudson
John Wiley & Sons, N. Y. 1949.
- 15) H E Adams & B L Johnson.
"Cross Linking in Natural Rubber Vulcanizater"
Ind. Eng. Chem., 45, 1539-46 (1953).