Escuela Nacional de Ciencias Químicas

Determinación de la Vulcanización de Llantas Gigantes por Medio de Termopares.

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a :
JOSE BRAVO GONZALEZ

MEXICO, D. F. 1964

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

A mi esposa.

A mi hijo.

A mis padres.

836-4

Mi agradecimiento a los Sres.
Dale R. Perren y Harold S. Burns
Gerente y Superintendente Tec.
de la Cía. Hulera Goodyear Oxo por las facilidades que me brindaron para efectuar este trabajo.

A mis maestros.

A mis compañeros y amigos.

I N D I C E

		Pág.
I.-	Introducción y objeto de la Tesis.	1
II.-	Generalidades.	6
III.-	Mecanismo de la Vulcanización.	12
IV.-	Vulcanización Optima	26
V.-	Determinación del Coeficiente de Temperatura - de Vulcanización	34
VI.-	Cálculo del Equipo	41
VII.-	Construcción y Vulcanización de la Llanta. . .	47
	Conclusiones	60
	Bibliografía	61

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

Una de las industrias de más arraigo y tradición en la República Mexicana es la Hulera.

Dió sus primeros pasos al comienzo de la década de 1920, y desde entonces ha crecido sin cesar hasta alcanzar el grado de desarrollo que la coloca dentro de las industrias más importantes del país.

La razón fundamental del desarrollo de la industria hulera es la calidad de los artículos que se pueden comparar con los mejores del extranjero.

Para lograr ésto, se han hecho cuantiosas inversiones que en conjunto se calculan en más de 1,000 millones de pesos; se cuenta con la asistencia técnica más avanzada que coloca a la industria hulera, al día en cuanto a adelantos y mejoras técnicas. Las fábricas cuentan con maquinaria y equipo modernos y eficientes, se ha entrenado a los obreros para lograr un alto rendimiento de productividad; y se emplean siempre las mejores materias primas requeridas.

Actualmente hay 75 fábricas operando en la industria, empleando alrededor de 3,400 trabajadores y 1,500 empleados. La producción mas importante se encuentra en el Distrito Federal y en el Estado de México. En Guadalajara y León hay varias fábricas que producen suelas, tacones y otros productos menores.

La industria hulera mexicana ha llegado a tener la capacidad y la técnica necesarias para surtir la demanda total del mercado

doméstico.

PRODUCCION:

Es muy variada la producción de la industria hulera: llantas y cámaras para automóviles, camiones, tractores, aviones, bicicletas, mangueras de uso industrial y doméstico; bandas transportadoras, de transmisión, suelas y tacones, tapetes, pisos, telas ahuladas, guantes, tapones y miles de artículos más.

No hay actividad humana en la que no se utilicen artículos de hule. Las llantas son el producto principal de la industria, por su importancia económica.

A continuación tenemos los datos que muestran como ha venido ascendiendo la

PRODUCCION DE LLANTAS:

1950	634,750
1951	803,953
1952	728,287
1953	785,363
1954	811,871
1955	893,075
1956	930,019
1957	931,117
1958	1,088,085
1959	1,173,102
1960	1,242,162

TRABAJO

La fuerza humana empleada en la Industria Hulera ha crecido en un 60% en los últimos 12 años. En 1950 trabajaban en la industria 3,370 personas entre obreros y empleados. En 1960 5,400.

En este último año la Industria Hulera pagó más de 120 millones de pesos por concepto de salarios y sueldos directos.

MATERIAS PRIMAS

Las materias primas que utiliza la Industria Hulera son, hasta la fecha, casi todas de importación.

El hule crudo no se produce en el país sino en cantidades mínimas.

En el proceso de elaboración intervienen infinidad de productos químicos que actúan como aceleradores, suavizadores y anti-oxidantes del proceso de vulcanización y durante la vida del producto, respectivamente. La mayor parte de ellos también se importan, aún cuando ya se empiezan a elaborar en el país para evitar la salida de divisas y disminuir el costo de la producción.

El negro de humo es una de las materias primas más importantes. Actualmente ya se inició la producción nacional de varios de los tipos de más consumo.

En México ya se fabrican cuerdas de rayón y nailon, aunque el último tipo, con monómero importado.

A continuación vemos un cuadro comparativo entre los años de 1959 y 60 con los distintos volúmenes y valores de las materias consumidas y producdas por la industria:

IMPORTACION DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCCION DE ARTICULOS DE HULE

(Valor en miles de pesos)

P R O D U C T O	1 9 5 9		1 9 6 0		% CAMBIO 1960/1959	
	VOLUMEN	VALOR	VOLUMEN	VALOR	VOLUMEN	VALOR
Importaciones:						
Hule natural, artificial y regenerado (Ton. Métricas)	37,130	225.559	42,271	268,194	+ 13.8	+ 18.9
Materias Primas Consumidas:		383,517		434,620		+ 13.3
Hule crudo y regenerado (Toneladas Métricas)	24,017	180,225	26,098	217,523	+ 8.7	+ 20.7
Productos Químicos (Ton. Métricas)	9,444	29,463	9,868	31,627	+ 4.5	+ 7.3
Textiles (Miles de mt^2)	3,233	47,826	3,325	48,888	+ 2.8	+ 2.2
Varios	------	126,003	------	136,582	------	------
Producción:		964,211	------	1,059,900	------	------
Llantas camión y automóvil (Miles)	1,173	636,047	1,242	686,431	+ 5.9	+ 7.9
Llantas Bicicleta (Miles)	888	18,249	1,178	24,776	+ 32.6	+ 35.8
Cámaras (Miles)	771	58,617	795	64,659	+ 3.1	+ 10.3
Cámaras Bicicleta (Miles)	261	2,345	518	5,014	+ 98.5	+113.8
Tacones y Suelas (Miles de Pares)	65,332	118,872	67,077	125,239	+ 2.7	+ 5.4
Mangueras de hule(Metros)	952,483	9,199	822,611	14,301	- 13.6	+ 55.5
Bandas transmisión (Unidades)	143,822	11,616	346,076	14,767	+140.6	+ 27.1
Varios	-------	109,266	------	124,713	------	+ 14.1

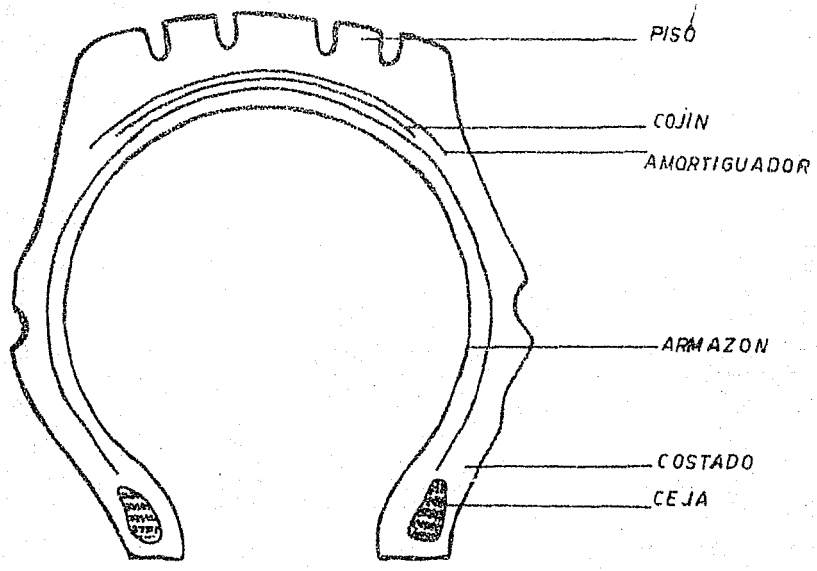
* Dato de la Dirección General de Estadística.

Unos de los pocos artículos de hule que aún se importaban hasta hace poco, eran las llantas gigantes usadas en los camiones empleados para mover tierra. Estas llantas significaban una pérdida de dinero, ya que se importaban en regulares volúmenes, demandados por las grandes construcciones hidráulicas del gobierno: El Infiernillo, Malpaso, etc. y por las múltiples carreteras en construcción.

El objeto de esta tésis como su título lo indica, es el desarrollo de una Vulcanización adecuada para estas llantas que tanto por su gran costo, como severas condiciones de trabajo, un defecto en la vulcanización podría hacer bajar el rendimiento o aún causar la falla completa de no una, sino centenares de llantas.

C A P I T U L O I I

G E N E R A L I D A D E S



Con el objeto de familiarizarnos con los términos que vamos a usar más adelante, veremos las principales partes que forman una - llanta, y las propiedades que se requieren de esos componentes:

1.- Piso

Como el piso va a proteger las partes situadas abajo de él, y debe resistir el tremendo desgaste del servicio, debe de retener - sus propiedades físicas con el tiempo y tener máxima resistencia a la abrasión, rompimiento, rajaduras, desmoronamiento, y generar po co calor. Estos requerimientos los lleva un compuesto con alta re

sistencia a la tracción, modulo alto y buena elongación. (Módulo: resistencia generada a una cierta elongación.- La más usual es --- 300%).

2.- Amortiguador:

En servicio el calor generado por una llanta, es proporcional a la rapidez y magnitud de distorsión (Flexión). El amortiguador se usa como una unión entre el piso y la armazón, para reducir la fricción y disipar el calor de este lugar, previniendo la sobre-vulcanización de este lugar durante el servicio. Es evidente que el compuesto de amortiguador debe tener buena conductividad térmica, buena flexión y buen añejamiento. Esto se logra usando una carga alta de óxido de zinc y dando una vulcanización un poco alta. El compuesto de amortiguador tiene cuerda con la trama abierta, que - sirve para amortiguar los golpes.

3.- Cojín:

Las llantas de 1a línea, usan amortiguador y cojín, las de menor calidad, sólo cojín. Las funciones son similares a las del -- amortiguador, aunque menos eficientes, por ser más delgado y no tener cuerda. Por lo tanto, los requirimientos de este compuesto son iguales a los del amortiguador.

4.- Armazón:

La resistencia de una llanta, depende en su gran mayoría de - la cuerda usada en el armazón, tanto su calidad, como su cantidad. Las cuerdas usadas actualmente, son el rayón y el nailon, con au-- mento incesante de consumo de nailon, en detrimiento del rayón y -

las fibras de poliester recién introducido en el mercado de los --- EE UU en llantas "premium". Las cuerdas deben ser pegadas y aisladas de cada una, por el compuesto de armazón que debe tener módulo mediano, buena elongación, añejar bien y resistir el calor.

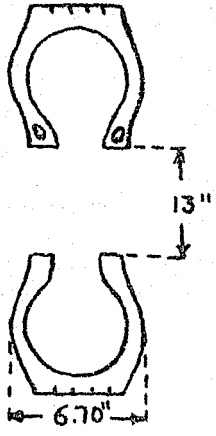
5.- Ceja

La función de la ceja es prevenir crecimiento de la llanta en servicio y asegurarla en el rin de la rueda. Está compuesta de alambre de acero de alta resistencia, aislado con hule. Debe ser flexible la ceja, para montarla y desmontarla con facilidad, y soportar ese estiramiento.

6.- Costado

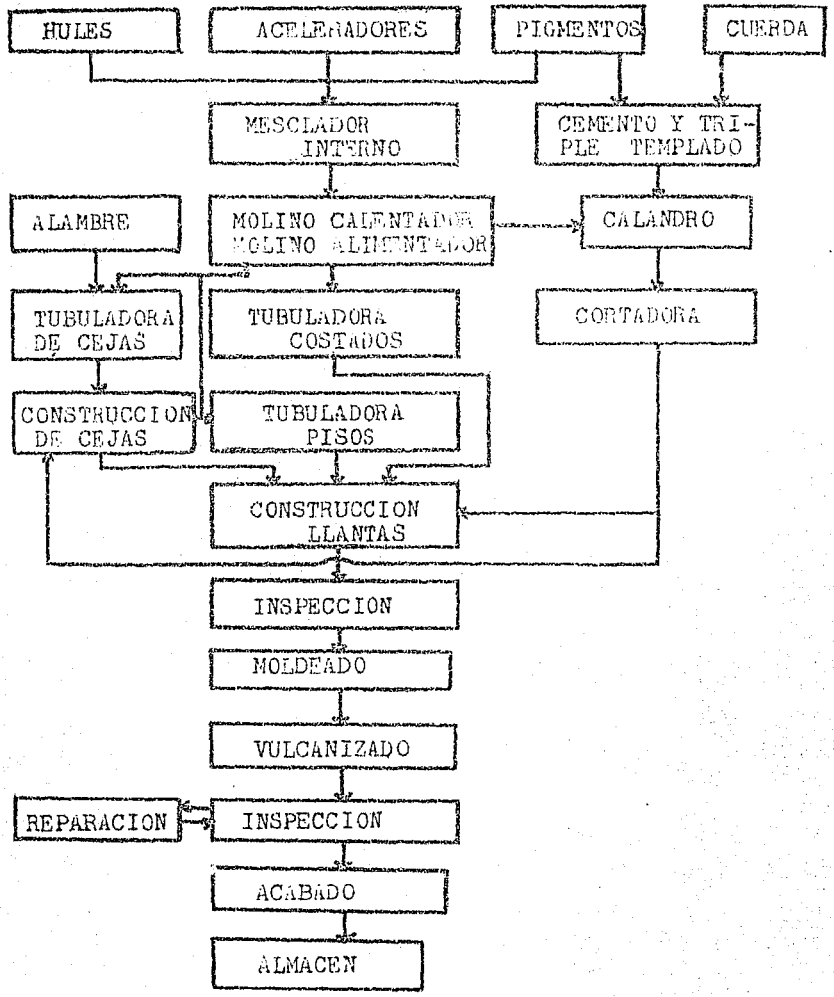
Muchas veces el costado es parte unitaria del piso. De que no es ese el caso, se escoge para el costado un compuesto flexible, de muy buen añejamiento resistente a las rajaduras.

Las medidas de la llanta, corresponden al diámetro de la sec--- ción radial, y a la distancia interior, o medida del rin:



La capacidad de capas, se usa para indentificar una llanta dada con su máxima carga recomendada cuando se usa en un tipo específico de servicio. Es un índice de la resistencia de la llanta y no representa necesariamente el número de capas en la llanta.

El proceso que sufren los materiales para construir una llanta se puede apreciar en el diagrama de flujo:


HULES
ACELERADORES
PIGMENTOS
CUERDA
MESCLADOR INTERNO
CEMENTO Y TRIPLE TEMPLADO
ALAMBRE
MOLINO CALENTADOR MOLINO ALIMENTADOR
CALANDRO
TUBULADORA DE CEJAS
TUBULADORA COSTADOS
CORTADORA
CONSTRUCCION DE CEJAS
TUBULADORA PISOS
CONSTRUCCION LLANTAS
INSPECCION
MOLDEADO
VULCANIZADO
REPARACION
INSPECCION
ACABADO
ALMACEN

Todos los materiales que se compran, deben llenar todos los requisitos de su especificación de compra, para asegurar la máxima calidad de los productos terminados. Esto se logra, mandando muestras al laboratorio de todos los materiales, antes de autorizar su uso. Si el laboratorio rechaza algún material, este se regresa al proveedor. Básicamente se hacen dos clases de pruebas: la de concentración del producto que puede variar de 90 a 99.99 y la de asegurarse que no lleve impurezas dañinas al hule. Las dos impurezas más perjudiciales son el cobre y el manganeso, exigiéndose en todas las especificaciones la ausencia de ellos. Los distintos lotes de hule, se mandan al laboratorio a probar su plasticidad, y en caso de no dar valores parecidos, se mezclan los lotes para obtener un producto homogeneo.

El mezclado de los compuestos, se hace en varios pasos, generalmente tres: Primero: se mastica el hule, Segundo al hule masticado se le agregan los aceites, negro de humo y ceras antioxidantes y en el último paso, se acelera el material, agregando los aceleradores, azufre, retardadores, etc. Las razones de hacerlo en varios pasos, son la eficiencia y seguridad en el proceso. Un hule sin masticar no "traga" el negro de humo rápidamente. Si se acelera el hule cuando se agrega el negro, se quemaría el material, ya que para obtener una buena dispersión de negro, se necesitan temperaturas de aproximadamente 300°F y a esta temperatura los materiales empezarían a pre-vulcanizar. Un material se acelera, mezclando $\pm$ 1 minuto a 200-230°F.

Una vez mezcladoslos distintos compuestos, siguen su proceso como se puede ver en el diagrama de flujo. La parte de la llanta que le da su fuerza, son las cuerdas, por lo que es un proceso - muy interesante, su cementado, ya que la cuerda sin cemento no tiene adhesión al hule. También se templa la cuerda, para obtener sus máximas propiedades, es como si fuera la cuerda de una guitarra. Si no se estirara la cuerda, en servicio crecería mucho la llanta. Este templado se hace mediante tres variables: Tiempo, Tensión y temperatura. Ya cementada la cuerda, y aprobada por el laboratorio, se procede a calandrearla, o sea recubrirla de hule, para poder pegarlas entre sí y formar el armazón. De aquí, pasa a la cortadora que cortará las bandas. Las llantas se construyen sobre tambores, aplicando las bandas de hule, doblándolas a los - extremos envolviendo a las cejas, aplicando los amortiguadores o breakers, el piso y los costados. Posteriormente, se les introduce en una expansora al vacío, una cámara gruesa para que vayan tomando la forma de llantas, y que se llenará de vapor en la vulcanización.

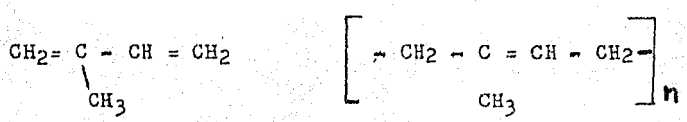
C A P I T U L O I I I

MECANISMO DE LA VULCANIZACION

Antes de ver en detalle el mecanismo de la vulcanización, es necesario tener una idea clara de qué es lo que vamos a vulcani-- zar: Hule.

Hace 100 años, fué establecida la fórmula del hule natural, (el único que había en aquellas fechas) como $C_5 H_8$, pero la evi-- dencia indicaba que la molécula era más grande en realidad, por - lo que se se clasificó al hule como coloide, es decir, una sustancia que contiene grandes aglomerados de moléculas de la misma formula.. Fué hasta 1920 cuando Staudinger, postuló la revolucionaria idea de que la molécula de hule, era una molécula gigantesca o "macro-molécula". Ahora, es aceptada una fórmula con 20,000 -- unidades $C_5 H_8$ aproximadamente; $(C_5 H_8)_{20,000}$. Estas relativamente enormes dimensiones en comparación con moléculas ordinarias, - es lo que da las propiedades poco usuales a las macro-moléculas, como son las de plásticos, hules y fibras.

Se llama monómero a la unidad que se repite: en nuestro caso isopreno y polímero a la macro-molécula.



ISOPRENO POLI-ISOPRENO (HULE NATURAL)

Aunque en este estudio, debido a las propiedades más adecuadas del hule natural para el uso indicado, tendrá éste capital - importancia, considero útil hacer mención a otros tipos de hules sintéticos, y sus métodos de vulcanización.

El nombre de hules sintéticos no es el más apropiado ya que la mayoría no reproducen la estructura del hule natural. Más propio es llamarlos Elastómeros.

NOMBRE	NOMBRE QUIMICO	AGENTE VULCANIZADOR	CRISTALIZACION AL ESTIRAMIENTO	FUERZA DEL VULCANIZADO.
Hule Nat.	Cis 1, 4, Poli isopreno	Azufre	Buena	Buena
S.B.R.	Poli Butadieno Co Estireno	Azufre	Pobre	Pobre
Nitrilo	Poli Butadieno Co Acrilo Nitrilo	Azufre	Pobre	Pobre
Butilo	Poli isobutileno-Co-isopreno	Azufre	Buena	Buena
Neopreno	Policloropreno	ZnO, MgO	"	"
Thiokol	Polialkilen Tetrasulfuro	ZnO	"	"
Silicon	Polidimetil siloxano	Peróxidos	Pobre	Pobre
Uretano	Poliester y Polieter de Uretano	Diisocianatos	Buena	Buena

La vulcanización introduce dobles ligaduras entre las cadenas de macro-moléculas, formando una estructura que puede resistir la deformación permanente. Esas ligaduras cruzadas ocurren en promedio cada 50 a 100 unidades monómeras en cada cadena, dando lugar a un material elástico, flexible. En el caso de ebonita el número de ligaduras cruzadas aumenta hasta que se obtiene una estructura rígida.

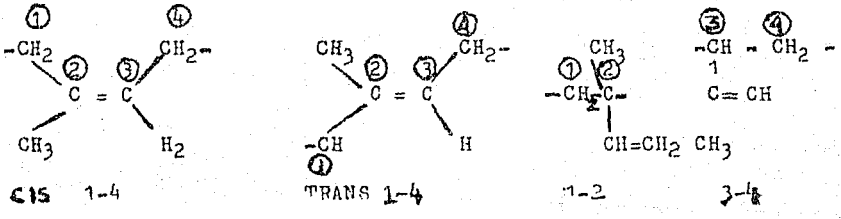
Las estructuras elásticas de hule, muestran mayor resistencia a la tracción que el material sin vulcanizar, por las ligaduras cruzadas que impiden hasta cierto punto que se resbalen las moléculas. Sin embargo, un marcado aumento en la resistencia a la trac-

ción resulta cuando las cadenas tensionadas de polímero poseen suficientes fuerzas entre cadenas para exhibir una estructura cristalina mientras están bajo tensión. Esta estructura cristalina ha sido encontrada por medio de espectros de difracción con rayos X.

Los elastómeros que no cristalizan al estirarlos, tienen inferior tensión al estiramiento, como en el caso del butadieno estireno, debido a la irregularidad de la estructura de la cadena. Estos polímeros no se pueden usar 100% solos, a menos de poner un agente reforzante, como negro de humo.

Hule Natural:

Los isomeros posibles al polimerizar isopreno son:



En el hule natural todoslas cadenas son de estructura CIS 1-4. Debido a esta marcada regularidad, las moléculas al estirarlas cristalizan, resultando en alta resistencia a la tracción.

Polimeros SBR

La designación en español debería ser HEB (Hules Estiro-Butadieno), pero desgraciadamente debido al poco desarrollo industria y técnico de los paises de habla hispana, y al predominio de técnica

y capital sajones, la industria hulera, y toda en general, está plagada de términos ajenos a nuestra lengua que esperamos en un futuro poder eliminar. Pues bien, los polímeros de estireno butadieno fueron producidos originalmente en tiempo de guerra, por plantas propiedad del gobierno de los EE UU polimerizando una mezcla de Butadieno y estireno.

$CH_2 = CH - CH = CH_2$ BUTADIENO

$CH_2 = CH$
C_6H_5
ESTIRENO

Las cadenas de las macromoléculas no tienen ninguna simetría u ordenación de la secuencia de los monómeros, por lo tanto, semejan al hule natural, pero su irregularidad no les permite cristalizar al estiramiento, y por lo tanto no desarrollan gran resistencia a la tracción.

Hule Nitrilo

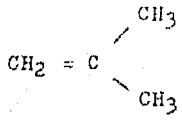
Es un copolímero de dos manómeros, butadieno y acrilo-nitrilo. Se usa como un hule resistente a los solventes, siendo el grupo nitrilo el que le da esta propiedad.

```
H   H
|   |
C = C
|   |
H   C≡N
```

Como el SBR tiene una estractora irregular y no cristaliza al estirado; por lo tanto requiere de un pigmento reforzante para dar alta resistencia a la tracción. La vulcanización se logra por medio del azufre, lo mismo que la del hule natural y SBR.

Hule Butilo:

Es también un copolímero, conteniendo principalmente unidades de isobutileno, con un pequeño porcentaje de unidades de isopreno. Este copolímero contiene sólo un pequeño porcentaje de dobles ligadores, 3% del hule natural. (debido a la pequeña proporción de isopreno.)

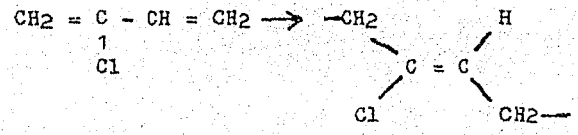


ISOBUTILENO (Gas)

Este pequeño porcentaje de insaturación se introduce para proporcionar los puntos necesarios para vulcanización con azufre, que es la usada para este hule. La regularidad en su cadena hace posible para este elastómero cristalizar bajo tensión, dando por consiguiente, alta resistencia a la tracción.

Neopreno

Este elastómero es esencialmente un policloropreno. Cloropreno es 2 clorobutadieno.



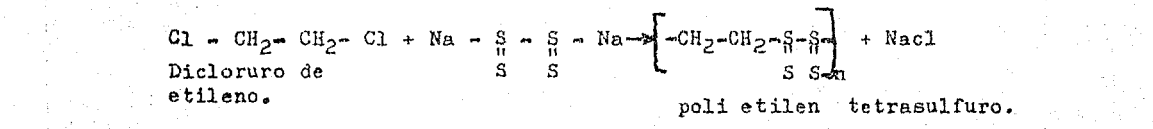
CLOROPRENO (Líquido) POLICLOROPRENO.

Como el polímero consiste casi completamente de unidades de trans 1, 4 las cadenas son lo suficientemente regulares en estructura para cristalizar al estiramiento. Así que el neopreno da altas resistencias a la tensión y es usado en compuestos de baja carga en muchas aplicaciones.

La vulcanización del neopreno es muy diferente de los elastómeros considerados previamente. No es vulcanizado por medio de azufre. Se aprovecha de el hecho que los atomos de cloro de la cadena pueden reaccionar con metales activos u óxidos metálicos. Así que el óxido de zinc o de magnesio se usan para reaccionar con el cloro e interconectar las cadenas en esos sitios.

Elastómeros Polisulfuro

Son polímeros de condensación conocidos como tiokol tienen suficiente regularidad para cristalizar al estiramiento pudiéndose usar sin reforzantes. La vulcanización se hace sin azufre por ser de cadena saturada. Se aprovecha de la propiedad de los átomos de azufre de reaccionar con óxidos de metales activos como de zinc, enlazando las cadenas en una estructura elástica.

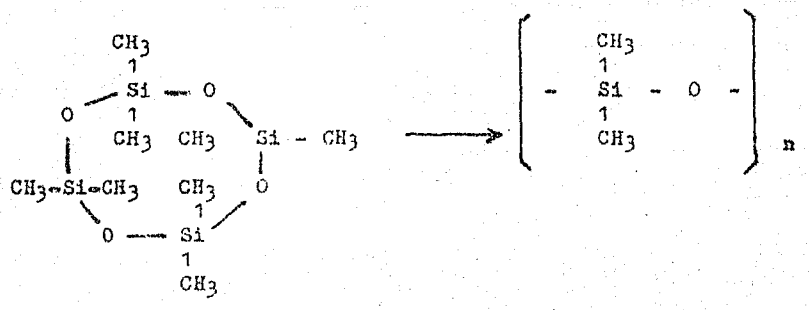


Dicloruro de etileno.

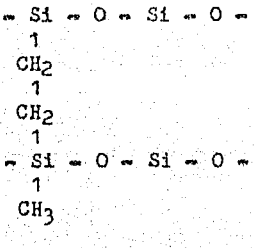
poli etilen tetrasulfuro.

Hule Silicón

Estos hules tienen una estructura completamente distinta de los precedentes, ya que su cadena no es de átomos de carbono, sino de silicio y oxígeno. Esta estructura resulta en una cadena muy flexible, con fuerzas entre las cadenas muy débiles, no cristalizando al estiramiento, y requiriendo un pigmento reforzante: SiO_2 en polvo. Se vulcaniza por medio de peróxidos. Probablemente actúan sobre átomos de hidrógeno del grupo metilo, permitiendo que átomos de carbono de cadenas adyacentes unirse.



siloxano ciclico



Se usan en los materiales que requieran soportar un trabajo a muy variadas temperaturas.

Poliuretano

Los polímeros de uretano representan una nueva modificación en el campo de la polimerización, debido a que son obtenidos por "Extensión de cadenas" en contraste con polimerización a partir de monómeros. En otras palabras, en este método, se pueden hacer macro moléculas "grandes" a partir de pequeñas. Este sistema tiene especiales ventajas, ya que las propiedades del polímero final dependen tanto del tipo original de polímero de cadena corta, como también de la longitud de cadena obtenida. Así, se pueden obtener una gran variedad de polímeros, elásticos o rígidos, pasando por toda la gama intermedia.

Los polímeros de cadena corta más usados son generalmente de dos tipos: polieteros y poliesteros:

$$H - O \left[- R - O - \right] nH \qquad HOR^1O \left[- \overset{\overset{O}{\|}}{C} - R - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - R^1 - O - \right] nH$$

Polieter Poliester.

n varía de 10 a 50 RyR^1 representan un grupo de 1 o más átomos de carbón.

La reacción se verifica por medio de isocianato.

$$H - O - Pn - OH + O = C = N - R - N = C = O \longrightarrow$$

$$\longrightarrow HO \left[- Pn - O - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - NH - R - NH - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - \right]_x - P - OH$$

x tiene valores de 50a100.

Aparte de la reacción de extensión de cadena, los isocianatos reaccionan con átomos de hidrógeno de la cadena, formando uniones entre cadena: Vulcanización. De este modo con los polímeros de uretano, se vacía y vulcaniza en una sola operación. Otra reacción de interes es con el agua:

$$OCH\text{-}R\text{-}NCO + 2H_2O \longrightarrow H_2N - R - NH_2 + 2CO_2$$

que se aprovecha para producir la espuma de uretano, en un solo paso.

Los uretanos, tienen alta resistencia a la tracción, ya que cristalizan al estirarlos.

Después de este breve repaso de los principales elastómeros, pasamos a ver la Vulcanización:

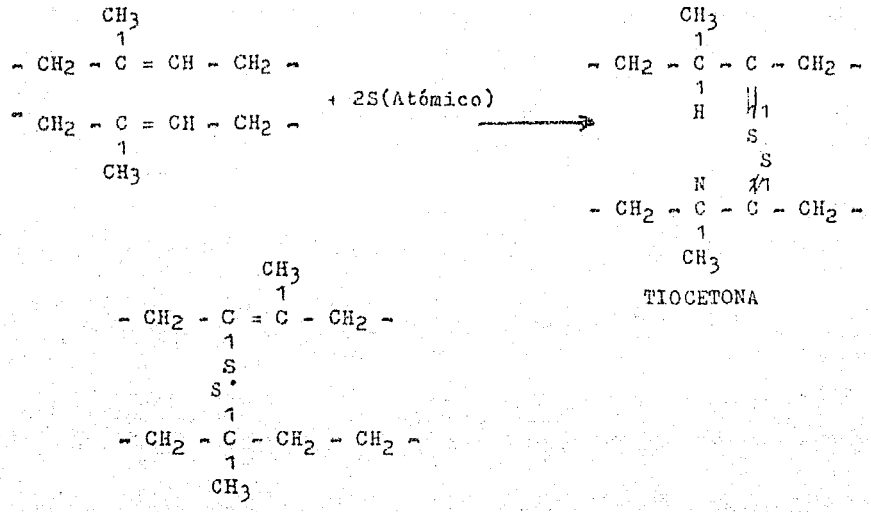
Vulcanización es el término aplicado a los distintos tratamientos a los que es sujetado el hule, para producir cambios en sus propiedades físicas como aumento en su resistencia a la tensión, disminución -

de la pegajosidad y mayor elasticidad. Otra interpretación de la palabra vulcanización es: El proceso por medio del cual pasa el hule -- del estado plástico, al elástico. Antíguamente el término vulcanización se aplicaba al proceso de calentar hule con azufre, a una temperatura determinada. El descubrimiento de otros tratamientos que también se han designado como vulcanización como el calentar con paróxido, con derivados nitrados, con selenio o quinonas halogenadas, han eliminado parcialmente el uso de azufre. También se puede vulcanizar con métodos físicos, como rayos ultravioleta, catódicos o con radiaciones de materiales radioactivos, eliminado la necesidad de calor o azufre.

Después del descubrmiento de Charles Goodyear de la vulcanización en 1839, pasaron más de 50 años antes de que se prestara atención a la investigación del proceso de vulcanización. Muchas teorías se han sugerido en el transcurso de los años respecto al mecanismo de la vulcanización; sin embargo, cada vez se veía más claramente que el mecanismo de la vulcanización no era una simple reacción química. Aún a la fecha, no hay explicación adecuada para muchas de las observaciones efectuadas en la combinación de azufre con hule en la presencia de otros reactivos aceleradores, activadores y bajo varias condiciones. En esta discusión, nos limitaremos a los hules que vulcanizan con azufre: Natural, nitrilo y SBR.

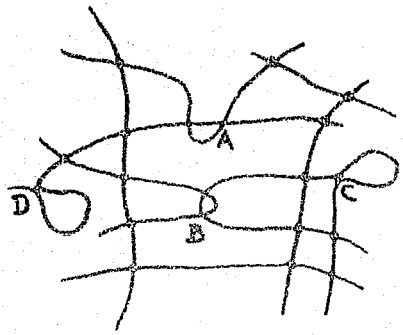
Como se verá, la vulcanización es principalente un proceso de interconneción de moléculas de hule.

Si consideramos que la vulcanización de hules es similar a la reacción de azufre con compuestos orgánicos no saturados, para formar puentes de azufre, podemos escribir las siguientes ecuaciones:



Hule Vulcanizado

Hay otras estructuras diferentes de la expuesta, pero con el ejemplo anterior nos podemos dar una idea de cómo las cadenas no saturadas de hidrocarburos se unen para formar una estructura tridimensional de alto peso molecular del cual se dice que está vulcanizado. La distribución de las uniones intermoleculares de azufre, no se considera uniforme, y puede ocurrir en puntos muy separados, o bien, muchas uniones en puntos cercanos. También puede suceder, que se formen puentes entre la misma molécula. La figura en la hoja siguiente nos puede dar mejor idea.



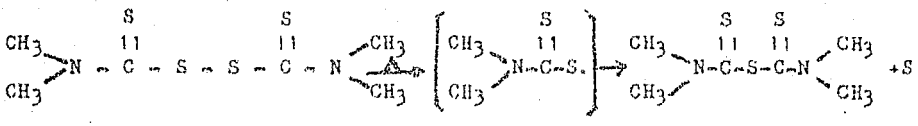
La baja insaturación y regularidad de la misma hacen al hule butilo ideal para estudiar la unión de moléculas, con la reducción o eliminación de muchas de las reacciones laterales y factores que complican este estudio en el hule natural.

El término "azufre atómico" usado anteriormente, nos trae a la influencia que los aceleradores ejercen en la vulcanización: Es generalmente aceptado que la vulcanización se efectúa fácilmente si el azufre molecular S_8 es convertido en radicales:

$$S_8 \longrightarrow \cdot S_8 \cdot$$

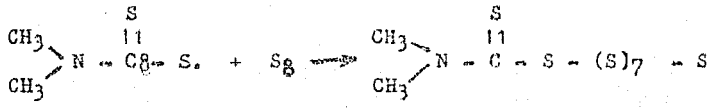
La función exacta de un acelerador es catalizar o aumentar la velocidad de formación de radicales de azufre.

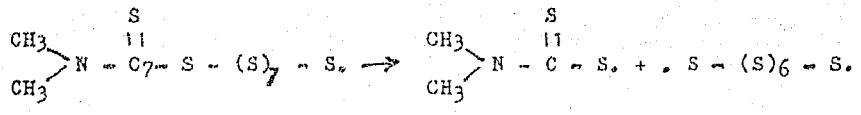
Un ejemplo lo tenemos como el Tuads:



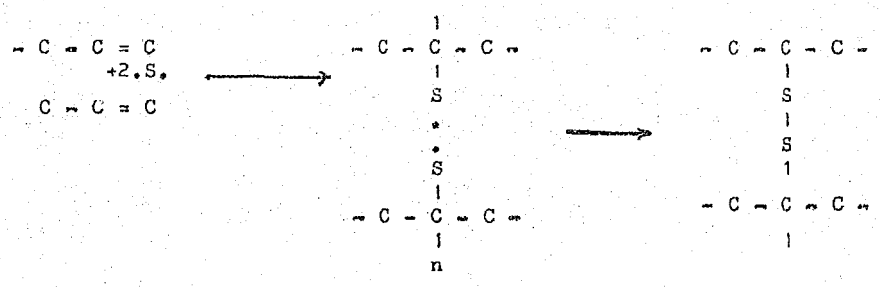
Tuads Radical Unads

Un radical como el anterior, en contacto con S_8, romperá el anillo, con formación de una cadena radical:



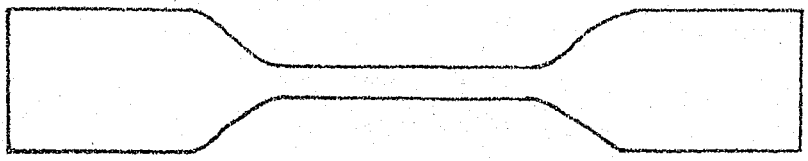


El azufre atómico reacciona inmediatamente con la doble ligadura:



Con el uso de los aceleradores, la industria hulera dió un paso gitantesco, ya que sin ellos, el tiempo de vulcanización era de horas, y mediante ellos, se redujo a minutos. También mejoran las propiedades físicas y el añejamiento del producto.

En la práctica, a todos los materiales que entran en una llanta se les prueba el "módulo rápido" para ver si tienen la vulcanización correcta, de otro modo representaría una seria dificultad el cons--- truir llantas con materiales que no vulcanizan. La prueba consiste en vulcanizar tres mancuernas de la siguiente forma:



a 4, 6, u 8 minutos a 320°F y estirarlos en un aparato especial dando una lectura arbitraria, de 0 a 200. Los límites, se establecen, basa dos en un material certificado, y que dé las propiedades físicas espe radas. Esta última prueba, se hace en la máquina Scott Albertoni (ver capítulo siguiente) y se especifican los resultados: módulo a 300% : X cantidad $\pm$ 100 libras. Estiramiento mínimo a la ruptura, X % ten--- sión mínima a la ruptura, X libras $\pm$ 100. Esta prueba se debe hacer a una temperatura constante, y siempre igual, para tener resultados - reproducibles.

Un método rápido para ver el grado de vulcanización es el usode du rómetro, pero no son muy exactos, ya que la lectura, varía para cada individuo y también varía con la temperatura.

Las fuerzas de Vander Waals de atracción, en ciertos casos, pueden efectuar una aparente unión de cadena, pero ésta desaparece, al elevar de temperatura el vulcanizado.

De todo lo anteriormente visto, se puede deducir que si bien mucho es lo que se sabe acerca de la vulcanización, más es lo que queda por investigar; que no es un proceso todo lo simple que quisieramos, hay muchos puntos obscuros en el proceso. Podemos decir que producir un artículo de X propiedades, requiere mucha experiencia, conocimiento de reglas empíricas y algo de arte. Para respaldar ésto, podemos ver todos los ingredientes que pueden entrar en una fórmula:

1.- Elastómeros
2.- Regenerados
3.- Acelerador
4.- Activador
5.- Retardador
6.- Agentes vulcanizantes.
7.- Antioxidantes
8.- Plastificantes
9.- Peptizantes
10.- Adhesivos
11.- Negro de humo.
12.- Cargas inertes.
13.- Colorantes
14.- Odorantes.

Y cada ingrediente, actúa sobre los demás, pudiendo escoger de cada ingrediente, una gran variedad de materiales.

C A P I T U L O I V

VULCANIZACION OPTIMA

Podemos definir la vulcanización óptima, diciendo que es la combinación de un tiempo de vulcanización con una temperatura también de vulcanización, que nos produce en el compuesto en cuestión las propiedades físicas deseadas.

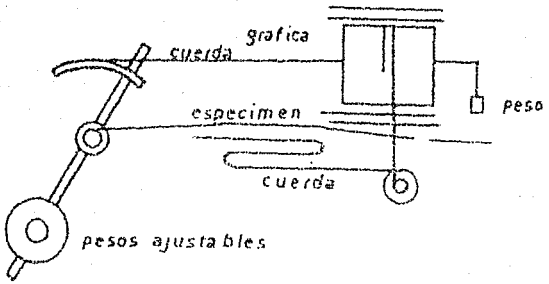
Las propiedades físicas se pueden relacionar con el estado de vulcanización y éste, tiene una relación directa con el módulo del producto.

El hule es un mal conductor del calor, y la temperatura en cualquier punto de un artículo que se está vulcanizando es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de dicho punto, a la fuente de calor.

Si el artículo de hule es de un grueso mínimo y está enteramente rodeado por el medio de calentamiento, podemos considerar que la temperatura en cualquier punto del artículo es la misma que la de la fuente de calor. El método más práctico para aproximarse a la anterior consideración es vulcanizar láminas delgadas de hule en una prensa. Este es el procedimiento que se usa para determinarla vulcanización óptima.

Estas láminas de hule, se cortan con un dado especial y se prueban según el método del ASTM D - 412 - 51T que se lleva a cabo en una máquina Scott - Albertoni.

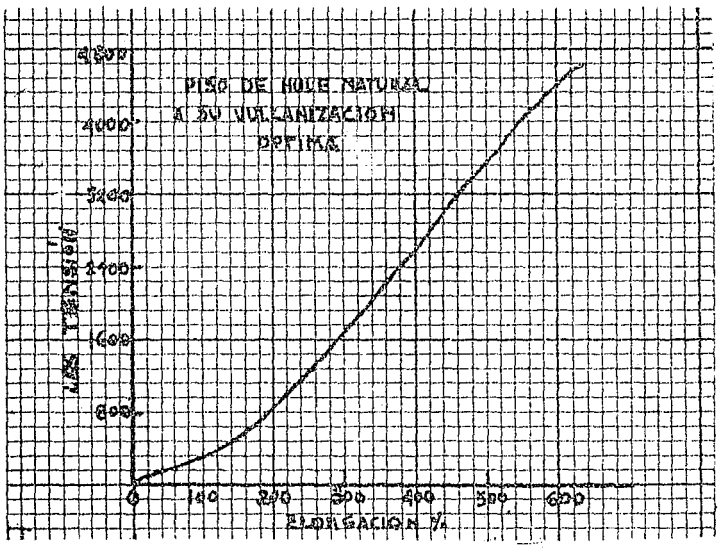
D I A G R A M A:



La muestra se pone entre dos mandíbulas que se apartan a una - velocidad de 20" por minuto. La muestra tiene dos marcas a una distancia de 1", por medio de los "seguidores" se mide el % de estiramiento horizontal del carro en que está el papel gráfico, nos da la tensión producida al aplicar cierto estiramiento en lbs/in^2 de sección recta.

Ejemplo:

PISO DE HULE NATURAL A SU VULCANIZACION OPTIMA

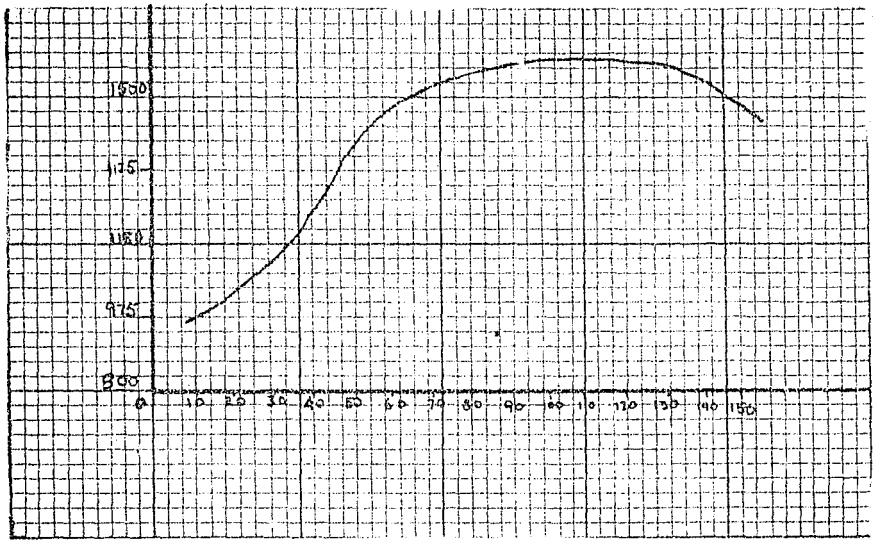


Para determinar la vulcanización óptima, se procede del siguiente modo: Para una fórmula dada, se hace una serie de vulcanizaciones de 10, 20, 30, 40, 50, 70, 80 minutos a la temperatura de vulcanización, y se lee el módulo a 300% trazándose una gráfica de módulo a 300% vs. tiempo, y el tiempo en el que se obtiene el mejor módulo, es el que corresponde a la vulcanización óptima.

Se obtiene una curva de la forma siguiente:

MODULO A 300% DE ELONGACION

Temperatura: 275°F



En la curva anterior, la vulcanización óptima sería 70/275 y como podemos ver, a mayor tiempo, tenemos aún módulos semejantes al de la -

vulcanización óptima, se dice que el compuesto más bien, el sistema azufre aceleradores dan una curva "Plateau" cuya utilidad - veremos en el siguiente Capítulo.

Los compuestos que vamos a usar básicamente en la llanta -- son:

1.- Piso

2.- Capas exteriores.

3.- Capas interiores.

4.- Cojín amortiguador.

5.- Aislante de Ceja.

FORMULA TIPICA DE PISO DE CAMION

Material:	Función:	Nombre Químico:	
Hule Natural			100.00
Reogen	Plastificante	(1)	2.00
Acido Estearico	Activador Vulcanización	El mismo	5.00
Oxido de Zinc	" "	" "	3.00
AgeRiter Hipar	Antioxidante	(2)	1.00
AgeRite ResinD		Trimetil dihidroxi-Quinoleina Polimerizada.	1.50
Para Flux	Plastificador	(3)	
Negro de Humo HAF	Reforzante	(4)	45.00
Azufre	Agente Vulcanizador	El mismo	2.50
Amax	Acelerador	(5)	0.45
Ledade	Acelerador	Dimetil ditio carbamato de plomo	0.10
			161.55

(1) Mezcla de un ácido sulfónico de alto peso molecular soluble en aceite, con un aceite parafínico.

(2) Mezcla de aprox. 50 partes de fenil B naftilamina, con aprox. - 25 partes de difenil para fenilen diamina, y 25 de difenilamina.

(3) Hidrocarburo de petróleo saturado polimerizado.

(4) Negro de humo de horno de alta abrasión.

(5) N Oxi di etilen benzatiazol 2 sulfonamida.

Piso:

El compuesto de piso debe llenar los requisitos siguientes: Dar buen desgaste, no presentar con el uso rajaduras, no desmoronarse, resistir cortadas por piedras y malos caminos.

El desgaste del piso depende del polímero y el negro de humo usados. El negro de humo da fuerza y resistencia a la abrasión, su nombre lo indica: H.A.F. "High Abrasion, Furnace". La cantidad normal para una llanta de camión es 50 partes de negro, por 100 de hule.

Las proporciones de azufre acelerador controlan las rajaduras de piso y el desmoronamiento. Estas proporciones son más bajas ahora que en el pasado, para mejorar estas características.

La protección contra en envejecimiento y los meteoros lo dan los antioxidantes que mantienen las propiedades físicas del compuesto por toda la vida de la llanta.

Las capas exteriores actúan como un compuesto de transmisión entre el piso y las capas interiores, o sea que debe tener una consistencia intermedia entre el piso de alta dureza, y las capas interiores de baja dureza, y gran resistencia a la flexión. (Ver fórmula anterior)

Aislante de Cejas:

Este compuesto, debe llenar las siguientes características:

1) Compatibilidad con el alambre de la ceja.

2) Buena adhesión al alambre.

3) Buena velocidad de vulcanización.

Cojín Amortiguador:

Semejante a las capas exteriores.

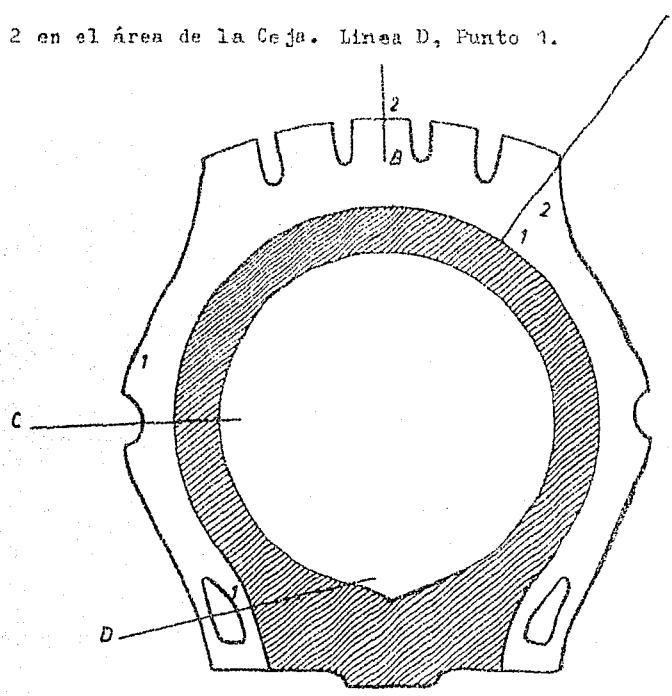
Las vulcanizaciones óptimas de los compuestos anteriores más usadas en la construcción de la llanta son:

1.- Piso:	70/275
2.- Capas Exteriores:	40/275
3.- Capas Interiores:	40/275
4.- Cojín Amortiguador:	40/260
5.- Aislante de Ceja:	40/260

Conociendo la vulcanización óptima para cada compuesto, es necesario encontrar un medio de medir la cantidad de vulcanización que este material recibe una vez que ha sido incorporado al producto; consideremos el corte seccional de la llanta; ver hoja siguiente.

Podemos considerar que el metal del molde es tan buen conductor del calor y que tiene la misma temperatura del vapor.

Así, encontramos puntos críticos en la vulcanización: Mínimos 1) a lo largo de la línea A en el hombro. Cerca del punto 2. 2 en el área de la Ceja. Línea D, Punto 1.



PUNTOS CRITICOS DE MAXIMA VULCANIZACION

1) En la linea B punto 2.

2) En la línea C punto 1 por estar en contacto con la bolsa, y con distancia mínima al molde. Llamaremos a estos puntos:

1	Hombro sobre armazón	H. S. A.
2	Hombro entre piso	H. E. P.
3	Piso central	P. C.

4	Primera Capa del Costado	1a C.
5	Cejas	CEJ.

En esta sección el H.S.A. está a considerable distancia del piso que está en contacto con el molde. Si se vulcaniza la llanta y se mide la temperatura por medio de termopares en H.S.A. y donde el piso toca el molde en línea recta con H.S.A. se encuentra un "retraso" en la temperatura de H.S.A. Si se grafica el tiempo contra la temperatura, se notará que H.S.A. está aumentando constantemente de temperatura, y aproximándose a la temperatura de vulcanización.

Para conocer la vulcanización lograda en H.S.A. que está cambiando constantemente de temperatura, es necesario conocer la velocidad de vulcanización a cada temperatura.

Para evaluar la velocidad de vulcanización es necesario determinar primero el cambio en velocidad de vulcanización correspondiente a un cambio en temperatura de vulcanización que es: El coeficiente de temperatura de vulcanización.

C A P I T U L O V

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE VULCANIZACION

Definición:

El coeficiente de temperatura de vulcanización es "el cambio en - velocidad de vulcanización producido por un cambio en temperatura". De acuerdo con la definición hay tres factores involucrados:

Velocidad $\left(\frac{1}{\text{Tiempo}}\right)$

Vulcanización (Tiempo vs. temperatura)

Temperatura.

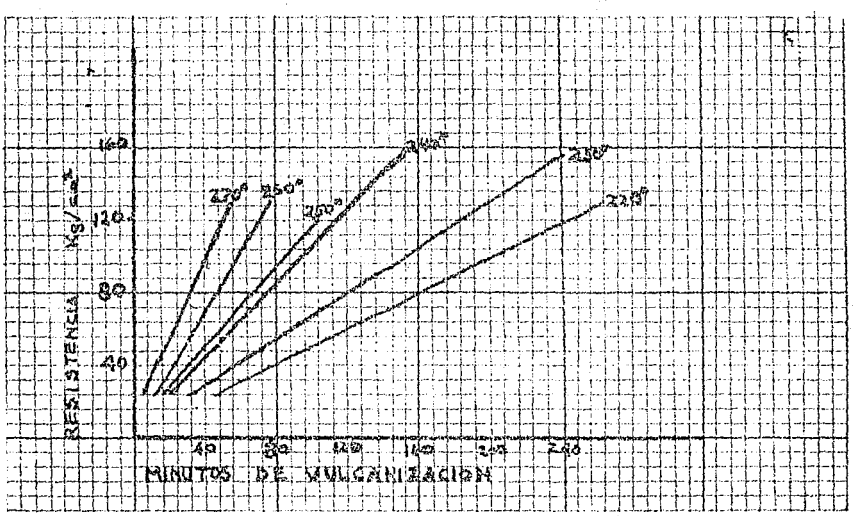
Como vamos a trabajar con cambios de temperatura, el primer paso debe ser determinar vulcanizaciones equivalentes en un rango de temperaturas.

Vulcanizaciones Equivalentes:

Refiriéndonos a la definición de vulcanización óptima, las propiedades físicas de una muestra vulcanizada, son una indicación de el grado de vulcanización. Por lo tanto, si muestras vulcanizadas por varios espacios de tiempo, a diferentes temperaturas, tienen propiedades físicas idénticas, tienen vulcanizaciones equivalentes.

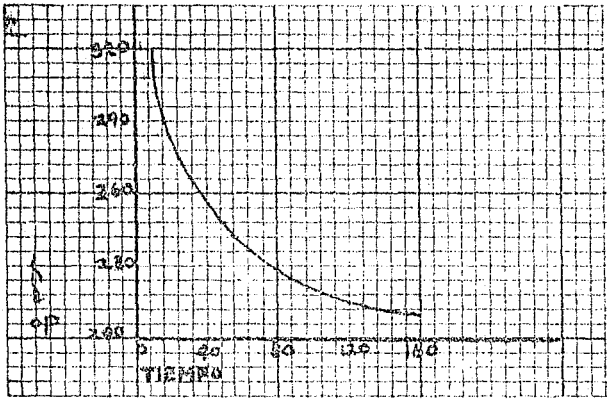
El método más común de medir las propiedades físicas, es el módulo, así que las muestras que tengan el mismo módulo, tienen vulcanizaciones equivalentes.

Así que para determinar vulcanizaciones equivalentes a diferentes temperaturas se vulcanizan varias muestras a la misma temperatura para c/u de las temperaturas y a distintos tiempos. Se determina el módulo (Usualmente a 300%). Se grafica Tiempo vs. - Resistencia a la tracción Kg/cm^2.

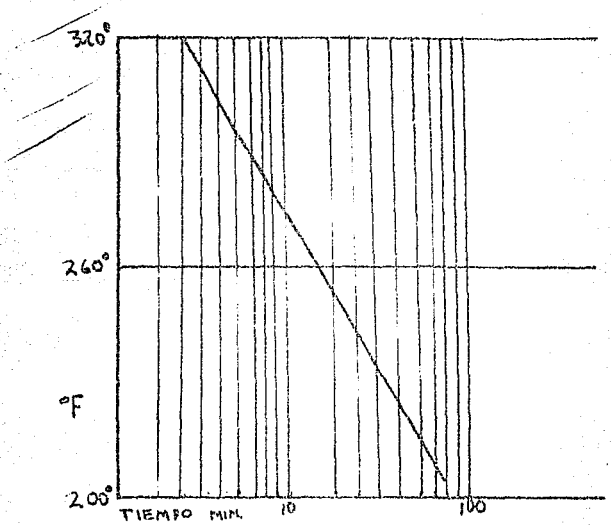


Como estas curvas, representan muestras a la misma elongación (300%), si escogemos una resistencia (Kg/cm^2) común a todas las -- curvas, tendremos vulcanizaciones produciendo propiedades físicas idénticas que son: Vulcanizaciones Equivalentes.

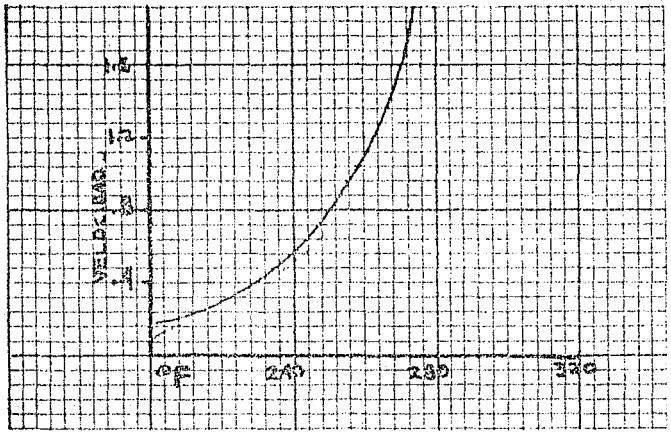
Graficamos el tiempo vs. temp. que producen vulcanizaciones - equivalentes.



Trazando esta curva en papel semi-logarítmico:



Si en las gráficas anteriores dividimos $\frac{1}{T}$ obtenemos velocidad, de esta manera obtenemos una gráfica de valores de velocidad para varias temperaturas de vulcanización.



El coeficiente de temperatura de vulcanización es el cambio en - velocidad de vulcanización que es causado por un cambio en temperatu- ra. Viendo la gráfica "Temperatura vs. Velocidad" el cambio en la -- pendiente de la curva representa un cambio en velocidad. El cambio - en velocidad, se puede expresar mejor como el aumento en velocidad -- producido por un aumento de 10°F en la temperatura. El coeficiente - de temperatura de vulcanización es igual aproximadamente 1.5/10°F.

Aplicación del coeficiente de temperatura de vulcanización para determinar la vulcanización de una llanta:

La temperatura mínima de vulcanización para los materiales con - que vamos a trabajar son 200°F, así que a esta temperatura le daremos una velocidad de vulcanización de .1 Con el coeficiente determinado de 1.5/10°F, se puede determinar la tabla de valores, o la gráfica -- respectiva.

Para evaluar la vulcanización, se siguen los siguientes pasos:

1.- Poner los termopares en los puntos que estimemos como críticos.

2.- Estimar una vulcanización para el producto.

Esta estimación es muy difícil de hacer si no se cuenta con experiencia previa, o datos de otras vulcanizaciones para productos similares, se procede de la siguiente manera: a los puntos críticos de vulcanización mínima, se fija el límite por debajo del cual el servicio del producto no es satisfactorio. Para hacer ésto, se hace uso de la curva del compuesto de módulo 300% vs tiempo de vulcanización y se escoge el tiempo mínimo que da un producto bien vulcanizado. Se procede del mismo modo para los demás puntos mínimos. Hay que hacer notar que todos los artículos de hule se vulcanizan con presión, las pruebas de laboratorio, en prensas hidráulicas. Las llantas, en prensas de ajuste perfecto, proporcionando la presión, la bolsa interior. En artículos de regular grueso, por ser el hule tan buen aislante del calor, retirado el artículo de la prensa, tarda el calor en disiparse - cierto tiempo, prosiguiendo la vulcanización hasta que la temperatura cae y ya no se obtiene apreciable vulcanización. Sin embargo, para - establecer el límite mínimo, no se puede tomar toda esta vulcaniza--- ción que recibe el material fuera de la prensa, porque si al salir de la prensa, no está bien vulcanizado, al retirar la presión de la bolsa, se pueden producir cavidades en el material, debido a gases que - se forman durante la vulcanización, aunque la temperatura residual, - efectúe la vulcanización correcta, las cavidades o poros, no se pueden admitir.

Para determinar el límite de los puntos críticos superiores, se procede del mismo modo en la gráfica "Módulo 300% vs. Tiempo", se ve qué tanta sobre-vulcanización estamos dispuestos a admitir, obteniendo aún un producto que dé buen servicio, para lograr dar una vulcanización correcta a los puntos más gruesos de la llanta.

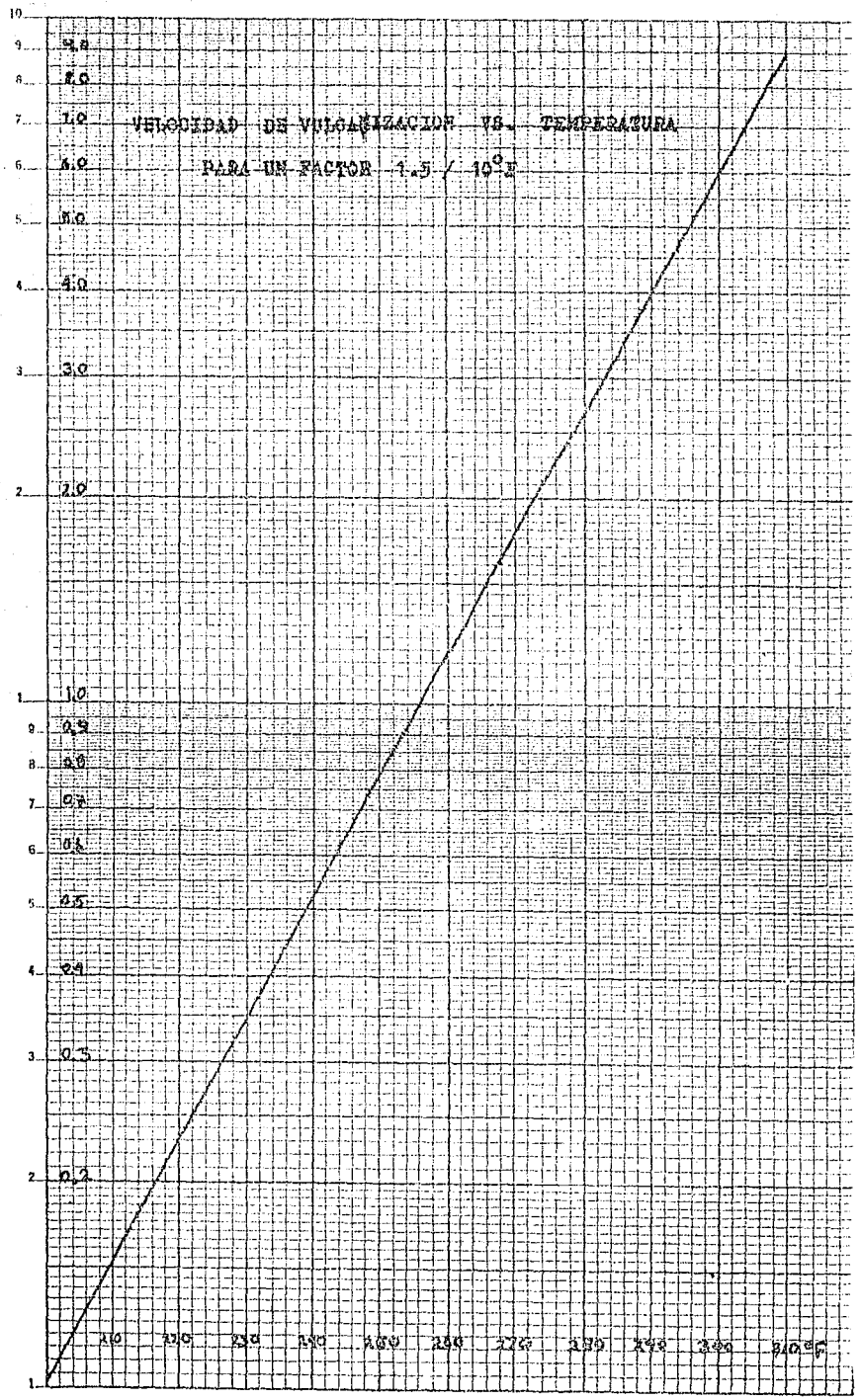
3.- Vulcanizar y obtener los datos de variación de la temperatura vs tiempo para los distitntos puntos de la llanta. Esto se hace tomando lecturas con un potenciómetro, a intervalos constantes.

4.- Transformar las lecturas de temperatura, en velocidad por medio de la gráfica.

5.- Trazar, en papel gráficas de tiempo vs. velocidad de vulcanización para cada punto de la llanta. Como las ordenadas son tiempo y velocidad, el area bajo la curva nos representa el trabajo efectuado: Vulcanización. Si dividimos la vulcanización entre la velocidad a una cierta temperatura, el resultado son minutos de vulcanización a esa temperatura. Si la temperatura escogida es la de la vulcanización óptima, podemos ver de inmediato si los valores caen dentro de nuestros límites establecidos previamente.

Mientras mayor sea la temperatura de vulcanización, hay más diferencia entre el estado de vulcanización del interior y del exterior.

El coeficiente de temperatura de vulcanización ha sido determinado también por el método de azufre combinado y el valor obtenido es mayor que el obtenido por el método físico, pero como la cantidad de azufre combinada no es necesariamente un índice del grado de vulcanización física, se ha convenido en tomar como correcto el valor obtenido físicamente.


VELOCIDAD DE VULCANIZACION VS. TEMPERATURA
PARA UN FACTOR 1.5 / 10°F
10
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
210
220
230
240
250
260
270
280
290
300°F

C A P I T U L O V

CALCULO DEL EQUIPO

Las llantas comunes se vulcanizan con vapor de 210# en el interior de la bolsa que lleva la llanta al ser vulcanizada por espacio de una hora más o menos. Para vulcanizar una llanta del tamaño de la nuestra, no podemos pensar en vulcanizar la llanta en un tiempo tan corto, ya que no alcanzaría a fluir el calor hasta las partes interiores de la llanta. Si damos un tiempo de vulcanización, hasta que se vulcanice el interior, el exterior estaría muy sobre vulcanizado. Otro inconveniente del vapor de 210# sería su baja presión para el moldeo de esta llanta tan gruesa. La relación a este problema, es el uso de agua caliente a 400# de presión. Viendo las tablas de vapor, a 400# la temperatura máxima a la que se puede usar agua caliente, es de 444°F. Nosotros la usaremos entre 150 y 180°C (302 a 357°F).

Necesitamos una bomba para elevar el agua a 400# y un tanque para almacenarla y calentarla con tubos de vapor. No pensaremos en un cambiador de calor de tubos, por el elevado costo que tendría hacerlo debido a la presión tan alta que tenemos en el sistema.

Cálculo de la Bomba

El tamaño de nuestra bomba, lo va a determinar la demanda de agua. El volumen de la bolsa es aproximadamente de 80 galones. La debemos llenar y alcanzar la presión de trabajo, en un

tiempo relativamente corto, para logar un moldeo perfecto. Así que lo indicado es una bomba de 35 galones por minuto, con ésto tendremos un tiempo de llenado de 3 minutos.

Procederemos a calcular la caída de presión entre la bomba y el tanque. Dado el lugar que tenemos disponible, la bomba estará a 12 pies del tanque.

La alimentación a la bomba, será de las líneas generales de agua, con presión positiva. No habrá problema de cavitación.

Para 35 GPM en el manual "Flow of Fluids" de Crane, nos da una tubería de 1½" para una velocidad de diseño de 5 pies/seg. (McCabe recomienda de 4-8ft/seg). Como el diámetro de la tubería calculado no es estandard, usaremos tubería de 2" St. cédula 80.

Longitudes equivalentes de caída de presión causados por codos, válvulas, etc., tomados del mismo manual de Crane:

Tubo recto	12'
1 Válvula Check	20'
1 Válvula Globo	58'
1 "T"	4'
3 codos (5' c/u)	15'
1 Expansión	10'
	119' (Caída total de presión)

$$P = \frac{1.05}{100} \times 119 = 1.24 \frac{lbs}{pulg^2} \times 2.3 = 2.85 \text{ ft de agua.}$$

1.05= caída de presión en tubería de 2" a una velocidad de 3.35 pies/min. en 100 pies de tubería.

A esta presión le tendrmos que agregar la cabeza de descarga:

$$400\ \# \times 2.3 = 920.$$
$$+\ \underline{2.85}$$
$$922.85 \text{ (Pies de Agua)}$$

Cálculo de la potencia de la bomba:

$$B.H.P. = \frac{Q \times H \times SpGr}{9600 \times n}$$

Q = Ga/min.

H = Cabeza en pies

n = Eficiencia = 60%

$$B.H.P. = \frac{35 \times 925 \times 1}{9600 \times .6} = 5.62 \text{ H.P.}$$

La presión de trabajo es muy alta para darla una bomba centrífuga. Para ésto hemos pensado en una bomba de pistón Duplex. De acuerdo con cotizaciones se ha seleccionado la Bomba Duplex - Worthington accionada por vapor, de 35 gpm.

El tanque para acumular y calentar el agua será de: 10'x42" $.785\left(\frac{42}{12}\right)^2 \times 10 = 96 \text{ pies}^3 \times 7.48 = 700$ galones.

El serpentín lo calcularemos para calentar 35 GPM de agua - de 15.5° (60°F) a 180°C (357°F) usando vapor de 210#. La cantidad de vapor necesaria para el calentamiento la calcularemos de la siguiente forma:

$$\frac{Q}{\theta} = Wo\ Cpo(ti-to) + \Delta w\lambda \qquad \Delta w\lambda = 0$$

$$35 \text{ GPH} \quad 0.1337 \times 62.3 = 282 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} \times 60 = 17{,}600 \frac{\text{lbs}}{\text{hr.}}$$

$$\frac{Q}{\theta} = 17{,}600 \times 1\ (357-60)$$

$$\frac{Q}{\theta} = 5{,}000{,}000 \text{ Btu/hr.}$$

$\frac{Q}{\theta} = UA\Delta tm$

Temperatura del vapor de 210#.

210.
+11.3
221.3 psia a esta presión, t = 389°F.

$$\Delta tm = \frac{(389-60) - (389-357)}{2.3 \log \frac{389 - 60}{389 - 357}}$$

$tm = 126°F$

Cálculo de U: Para calcular U tenemos que conocer h del lado del líquido. Como el tanque lo vamos a calentar por medio de tubos - con vapor en la parte inferior del tanque, tendremos un caso específico de calentamiento por convección natural, y podemos aplicar la ecuación para el cálculo del coeficiente de película del lado del agua que nos da el Kern:

$$h_c = 116 \left[\left(\frac{k_f^3 \rho_f^3 \beta c_f}{\mu' f} \right) \left(\frac{\Delta t}{d_o} \right) \right]^{0.25}$$

En esta ecuación:

$k_f = 0.39$ Conductividad térmica

$\rho_f = 55\ lb/ft^3$ Densidad

$\beta = \frac{S_1^2 - S_2^2}{2(t_2 - t_1) S_1 S_2}$ Coeficiente de expansión térmica. $\frac{1}{°F}$

$\mu_f =$ Viscosidad en centipoases.

$d_o = 0.75\ in.$ Diámetro de tubería.

$c_f = 1.03\ BTU/lb°F$ Calor específico.

Sp Gr 60°F $= \frac{62}{62.3} = 1$

$$Sp\ Gr_2 = \frac{57}{62.3} = .91$$

$$\beta = \frac{1 - .81}{2(373-60).91} = 0.000336$$

$$hc = 116 \left[\left(\frac{0.393 \times 55^2 \times 1.03 \times .000336}{\frac{.3}{2.42}} \right) \left(\frac{126}{.75} \right) \right]^{.25}$$

$$hc = 116 \quad (.48 \times 168)^{.25}$$

$$hc = 350$$

$$U_c = \frac{h\ 10 \times ho}{h_i\ 0 + ho}$$

Considerando para el vapor un coeficiente de película de 1,500 de acuerdo con la literatura:

$$U_c = \frac{1,500 \times 350}{1,500 + 350} = 285$$

Dando un factor de incrustación de Rd = 0.002

$$Ud = \frac{Uc \times \frac{1}{Rd}}{Uc + \frac{1}{Rd}}$$

$$Ud = \frac{235 \times 500}{785}$$

$$Ud = 182$$

Entonces el area necesaria para efectuar el calentamiento, calculada mediante la ecuación $\frac{Q}{0} = UA\ \ tm$ será:

$$A = \frac{5\ 000\ 000}{182 \times 126} = 218\ pies^2$$

Vamos a usar tubos de 3/4" diámetro exterior #16 BWG (Birmingham Wire Gauge) con una longitud de 8 pies:

Area por tubo:

$.1963 \times 8 = 1.57\ pies^2$

Número de tubos: $\frac{218}{1.57}$ = 139 tubos.

Pérdidas de calor en el molde: serán por convección natural y por radiación al aire. Para calcularlo disponemos de las siguientes ecuaciones:

1o. El coeficiente por convección al aire, de acuerdo con el Kern ecs 10.10 a 10.12: estará entre hc= $0.2\Delta t^{0.25}$ y hc=$0.3\Delta t^{0.25}$

Tomaremos el valor más alto:

$hc = 0.3\Delta t^{.25}$

Suponiendo una temperatura en la superficie de 127°C y en los alrededores de 30°C:

$hc = 0.3\ 164^{.25}$

$hc = 1.08\ \frac{BTU}{hr\ pies^2\ {}^oF}$

Para el cálculo del coeficiente de transmisión de calor por radiación emplearemos la fórmula siguiente:

$$hr = \frac{0.173E\left[\left(Ti\ abs/_{100}\right)^4-\left(Tz\ abs/_{100}\right)^4\right]}{T_1\ abs - T_2\ abs.}$$

La emisividad para fierro oxidado es 0.8.

$$hr = \frac{0.173 \times 0.8\ (7.07^4 - 5.46^4)}{164}$$

$hr = 1.4\ BTU/hr^2\ {}^oF$

El area de convección y radiación es: 125 $pies^2$

La suma de los coeficientes de convección y radiación es:

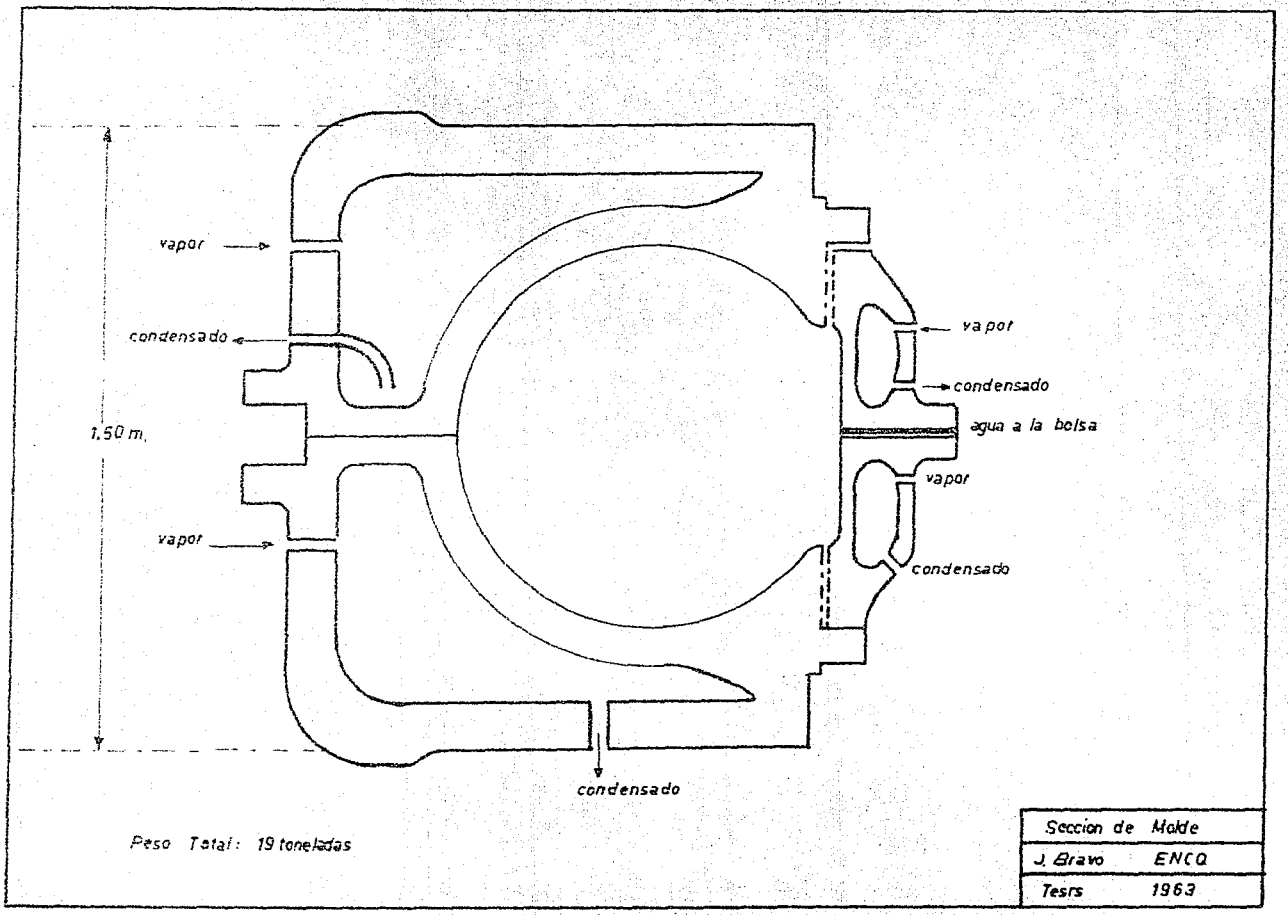
$hr + hc = 2.48\ BTU/_{hr.\ pies^2\ {}^oF}$

Las péridas que se obtienen por convección y radiación serán:

$\frac{Q}{\theta} = 125 \times 164 \times 2.48 = 51\ 000\ BTU/_{hr.}$

Para suplirlas se consumirán:

$\frac{51,000}{835}$ = 61 lbs de vapor de 210#


vapor
condensado
1,50 m.
vapor
condensado
vapor
condensado
agua a la bolsa
vapor
condensado
Peso Total: 19 toneladas
Seccion de Molde
J. Bravo ENCO
Tesis 1963

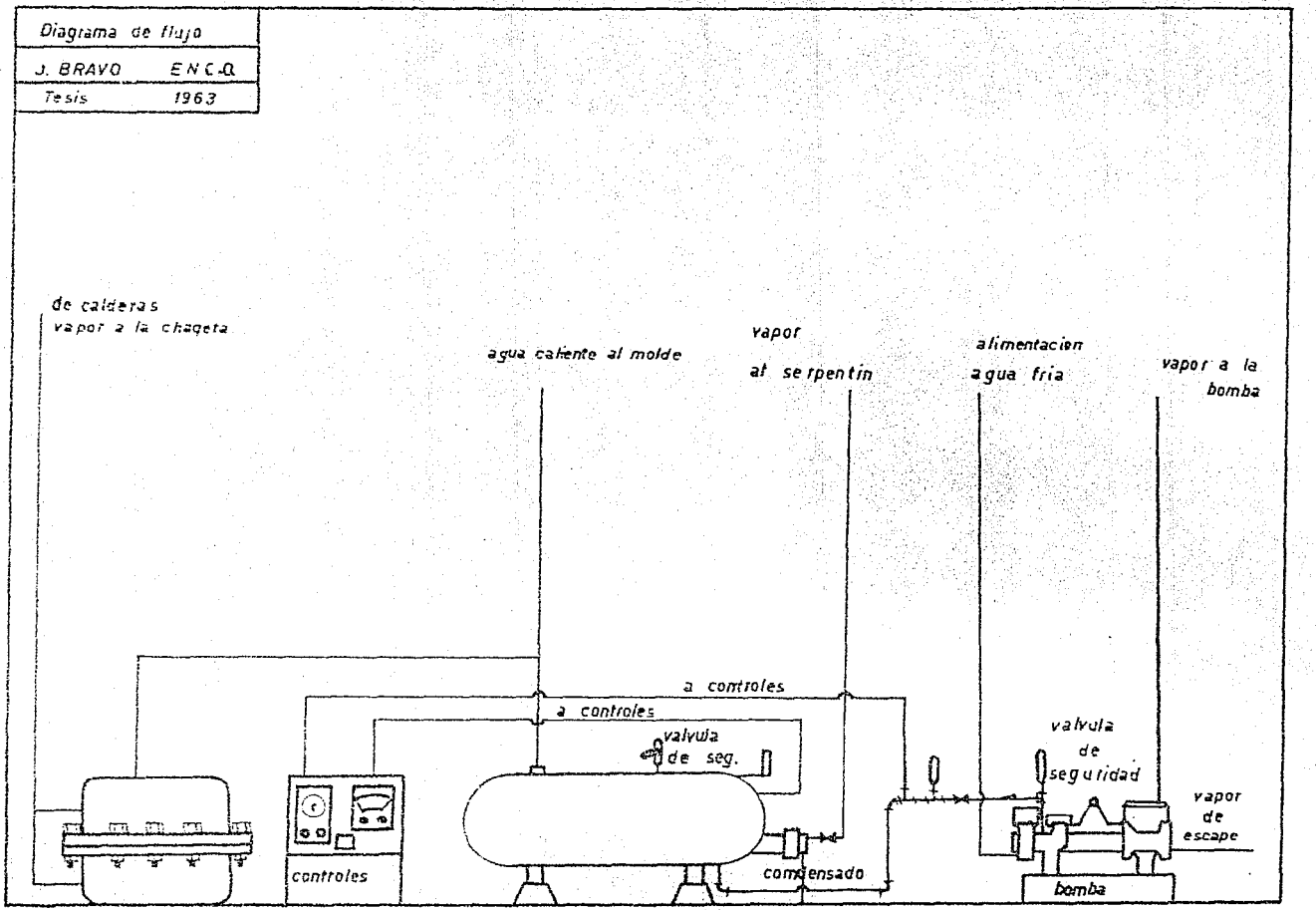


Diagrama de flujo
J. BRAVO E.N.C.Q.
Tesis 1963
de calderas
vapor a la chaqeta
agua caliente al molde
vapor
al serpentin
alimentacion
agua fria
vapor a la
bomba
a controles
a controles
valvula
de seg.
valvula
de
seguridad
vapor
de
escape
controles
condensado
bomba

C A P I T U L O V I

CONSTRUCCION Y VULCANIZACION DE LA LLANTA

Una de las partes más importantes en la construcción de una llanta de termopares son los termopares. Veamos brevemente lo - que son:

Seebeck descubrió en 1921 que en un circuito cerrado de dos metales, si las dos uniones están a diferente temperatura, se generará en el circuito una corriente eléctrica. Por ejemplo, si las terminales de un alambre de fierro y otro de cobre se funden juntas, y luego se calienta la unión, fluirá una corriente (+) - en la dirección COBRE FIERRO en la unión caliente, y en la - unión fría, será en el sentido FIERRO COBRE. Dos causas contribuyen a la F.E.M. que produce la corriente. Existe una F.E.M. entre dos diferentes metales puestos en contacto, la magnitud de la cual depende de la temperatura y de los metales usados. También, si un alambre de material homogeneo se calienta en un extremo, se produce una F.E.M. entre la terminal caliente y la - fría, esta F.E.M. depende de la temperatura y del metal en cuestión. Estas dos fuerzas electromotoras son conocidas como los - efectos Peltier y Thompson, respectivamente. La fuerza electromotríz total que actúa en un circuito cobre-fierro como el descrito anteriormente, es la suma de: la fuerza electromotríz Peltier en cada unión, y la F.E.M. Thompson en cada alambre, considerando desde luego los signos algebraicos de estas cuatro fuer-

zas electromotoras. La fuerza electromotríz total actuando en un circuito de dos metales distintos, depende de las temperaturas de las dos uniones. Si la temperatura de una unión se fija a la temperatura ambiente o a 0°C la temperatura de la otra unión puede ser determinada midiendo la fuerza electromotríz generada en el circuito. Este es el principio básico de la pirometría termoeléctrica. En general el circuito termoeléctrico consiste de más de dos diferentes metales debido a los componentes del instrumento empleado para medir la fuerza electromotríz. Sin embargo, se puede demostrar que la inserción de un metal diferente en el circuito, no tiene influencia en la fem total si ambos terminales del metal introducido están a la misma temperatura, que es el caso de un potenciómetro. Las f.e.m. desarrolladas por los termopares, son pequeñas generalmente unos cuantos milésimos de volt.

Metales usados para Termopares

Si bien cualquier par de metales se puede usar para un termopar, ciertas combinaciones no son satisfactorias porque dan F.E.M. muy pequeñas, y también porque no varían las F.E.M. desarrolladas linealmente, sino que aumentan, luego disminuyen, cambian de signo. Lógicamente las propiedades ideales para un termopar son:

1.-Capacidad de resistir corrosión y oxidación.

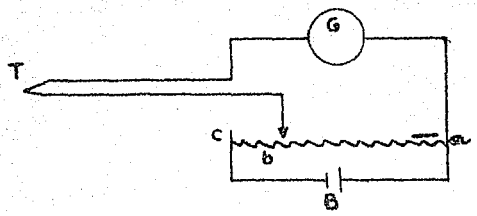
2.-El desarrollo de relativamente grandes fuerzas electromotrices.

3.-Una relación temperatura - fuerza electromotríz tal, que la fuerza electromotríz aumente contínuamente con aumen-

tos también contínuos de temperatura dentro del límite de temperatura de trabajo.

Para trabajo general a altas temperaturas se emplean diferentes tipos de termopares. Hasta 360°C el termopar puede consistir de un alambre de cobre y el otro de constantan. Fierro-constantan o nicromel-constantan, se pueden usar para procesos técnicos a temperaturas menores de 900°C. Para operaciones menores a 1100°C son satisfactorias aleaciones especiales patentadas de cromo y niquel, o de aluminio y niquel. Para temperaturas de 300 a 1,500°C se debe emplear el termopar de LeChaterier, este termopar consiste de un alambre de platino y otro consistiendo de una aleación de 90% Platino y 10% de Radio. No se ha desarrollado un termopar para temperaturas mayores de 1500°C.

El método más generalmente usado para medir F.E.M. es mediante un potenciómetro. El principio fundamental de un potenciómetro es:



Una corriente constante de la batería B fluye a través de la resistencia abc. Un alambre del termopar se conecta al contacto

móvil b y el otro, en serie con un galvanómetro sensitivo se conecta con a. El contacto b se mueve hasta que el galvanómetro - lea cero, lo que indica que no fluye corriente a través del circuito del termopar. Cuando este balance a cero se hace, la fuerza electromotríz real del termopar es igual a la caída de potencial a través de ab. Esto se deduce de la ley de Ohm e = ir donde i es la corriente fluyendo a través de la resistencia; r = ab. Si la corriente se ajusta siempre a un valor definido, el contacto movil, se puede graduar en milivoltios, o temperatura directamente, pero ésto nos limita a usar un solo tipo de termopares. - Este ajuste se puede hacer substituyendo el termopar por una celda estandard.

Los termopares usados fueron de cobre y constantan, la construcción de ellos es sencilla: se les quita con un papel de lija el forro protector de algodón, y se les pule el esmalte que tienen, se tuercen cuidadosamente las dos terminales, a que quede - la parte torcida de ½ centímetro, y se soldan.

Los puntos críticos que se van a investigar son:

Exterior del piso	1 termopar
Hombro entre el piso	3 termopares
Hombre sobre armazón	3 termopares
2a ceja	1 termopar
3a ceja	1 termopar
1a capa superior en el costado	1 termopar

La razón de poner tres termopares en la zona del hombro, es para asegurarnos de que uno de ellos al menos, esté en la zona - de vulcanización mínima.

La incorporación de los termopares a la llanta, no presenta ningún problema si disponemos de los planos de la llanta, medimos exactamente en ellos la distancia a la que queremos poner los termopares de la línea central, y conforme se van poniendo las capas en el tambor, aplicamos el termopar de la 1a capa, luego los de - la 2a y 3a cejas, teniendo cuidado de que todos los alambres salgan por el mismo punto de la llanta, para posteriormente formar - un cable con todos los alambres. Hay que tener cuidado en identificar cada alambre.

La vulcanización, comenzará con 10' de vapor en bolsa y 127°C en el molde. Seguidamente del vapor, entrará agua a alta temperatura, por un tiempo que iremos determinando según proceda la vulcanización de los puntos críticos.

Los termopares, se lijan cuidadosamente en el extremo libre, y se sujetan a una tabla en que cómoda y separadamente se pueden - tomar la lectura de ellos con el potenciómetro, ya que son 10. El intervalo de lectura será de 20'.

El aparato usado para las lecturas fué un potenciómetro Leeds - Northrup No. 8662 con un termo con hielo, para poner el termopar de referencia a 0°C.

LLANTA 18.00-25 DE TERMOPARES.- 1A VULCANIZACION

	TIEMPO	1A CAPA COSTADO	2A CEJA	3A CEJA	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO ENTRE PISO	EXTERIOR DEL PISO
	5	127.3	-----	103.5	-----	-----	-----	116.6	101.3	108.0	212.3
	20	166.3	125.3	143.3	11.7	107.5	100.0	137.5	111.7	121.3	232.0
	40	215.0	160.0	171.0	151.0	136.0	133.0	163.0	135.0	147.0	242.5
	60	243.0	184.0	190.0	176.0	163.0	158.0	184.0	157.5	168.0	246.0
	80	262.0	203.0	207.5	195.5	183.0	178.0	199.5	175.5	185.3	248.7
	100	247.7	222.3	222.3	211.5	200.3	195.5	213.0	191.5	201.0	250.7
	120	282.5	237.0	235.0	225.0	216.5	211.0	225.3	208.0	215.0	253.3
	140	286.3	247.0	243.5	230.0	228.0	224.5	234.0	219.5	225.3	253.0
	160	288.0	254.0	250.3	244.0	238.0	235.0	242.0	229.7	235.0	253.6
	180	290.0	260.7	256.3	252.0	247.7	245.0	248.3	239.0	243.3	254.3
	200	290.0	265.0	261.0	259.0	255.0	253.0	254.0	248.0	251.0	255.0
	220	290.0	267.3	263.3	264.7	262.0	260.7	259.0	254.3	256.3	255.0
(1)	225	290.0	-----	264.7	-----	-----	263.3	-----	256.0	-----	254.7
(2)	240	289.0	-----	262.7	-----	-----	265.3	-----	260.0	-----	238.0
(3)	270	268.0	-----	246.0	-----	-----	271.0	-----	263.0	-----	203.0
	335	229.0	-----	218.0	-----	-----	250.3	-----	243.7	-----	-----
	350	217.3	-----	213.0	-----	-----	245.7	-----	238.7	-----	-----

(1) Se corta el vapor al molde y entra el agua de enfriamiento, a esta altura ya se sabe cuáles fueron los termopares propiamente localizados.

(2) Se corta el agua caliente a la bolsa, termina el período de vulcanización con presión. Al molde se le corta el agua, y entra el aire para desalojar el agua.

(3) En media hora se desaloja el agua. Fin de la vulcanización; se abre el molde.

Se tomará una hora de enfriamiento.

El siguiente paso es transformar las lecturas de temperatura en velocidad de vulcanización mediante el uso de la gráfica "Temperatura Vs. Velocidad de Vulcanización".

LLANTA 18.00-25.- VELOCIDAD DE VULCANIZACION VS. TIEMPO

TIEMPO MINUTOS	1A CAPA COSTADO	2A CEJA	3A CEJA	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO SOBRE AEMAZON	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO ENTRE PISO	EXTERIOR DEL PISO
5										0.163
20	0.025									0.366
40	0.181		0.030							0.593
60	0.553		0.066							0.619
80	1.100		0.134					0.037		0.690
100	1.688		0.244					0.070		0.718
120	2.170		0.407					0.137		0.780
140	2.440		0.564					0.218		0.800
160	2.580		0.726					0.330		0.800
180	2.746		0.901					0.480		0.837
200	2.746		1.062					0.670		0.860
220	2.746		1.150					0.840		0.860
225	2.746		1.200					0.982		0.851
240	2.663		1.127					1.026		0.457
270	1.350		0.619					1.138		0.411
335	0.320		0.205					0.568		
350	0.199		0.167					0.470		

El siguiente paso es graficar la velocidad de vulcanización contra tiempo.

Hecho ésto, se procede a integrar el área bajo las curvas. Se empleó por su comodidad y rapidez, un planímetro. Conocidas las pulgadas cuadradas de superficie, se toma la equivalencia de 1 pulg^2 de acuerdo con los valores de la gráfica, y multiplicando este valor por las pulgadas cuadradas totales, obteniendo la vulcanización total. Dividiendo este valor por la velocidad a - 260°F, obtenemos los minutos de vulcanización equivalentes a --- 260°F.

VELOCIDAD DE VULCANIZACION

Los resultados obtenidos fueron:

1a Capa

Total 31.3 in^2 = 487 min/260°F 487 Límite máx. 500 /260

Este valor está correcto.

3a Ceja:

Vulcanización con Presión 15 =117 minutos/260.-Límite mínimo 50 /260

Enfriamiento: 5.3= 41.3 " "

Total: 158.3 " " Límite mínimo 80'

Este valor está correcto.

Hombro sobre Armazón

Vulcanización con presión = 74.7 minutos/260 Límite mínimo 50 min/260

Enfriamiento 10.4 in^2 = 81.0 " "

Total: 156. " " Límite: 100-250 min/260

Este valor está correcto.

Piso:

Total: 20.5 in^2 = 160 =160 minutos/260 Límite 200-250

Falta vulcanización en el piso.

Por lo tanto hay que vulcanizar más tiempo la llanta. Pero como la 1a capa está muy cerca del máximo, le quitaremos el vapor inicial, y aumentaremos 15' de vulcanización, que calculando en la gráfica, nos dan los 40' equivalentes a 260° que nos faltan. También algo influyó en este valor bajo, que el termopar no estaba en contacto con el molde. Al fluir el hule se enterró. Corregido este defecto, se procedió a vulcanizar la llanta por segunda vez.

DETALLE DE LA VULCANIZACION:

Vapor en molde a 260°F: 240 minutos seguido de 15' de agua de enfriamiento y de 30' de aire para desalojar el agua.

255 minutos de agua caliente en bolsa, a 400# seguido de 30' de desinflado.

Total: 4 hrs 3/4.

LLANTA 18.00-25 2A. VULCANIZACION

TIEMPO MINUTOS	1A CAPA COSTADO	2A CEJA	3A CEJA	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO SOBRE ARMAZON	EXTERIOR DEL PISO
20	204									212
40	236									231
60	265			160	190	189	170	189	190	243
80	270			169	199	197	178	197	199	247
100	278			187	214	213	196	213	214	249
120	281			200	224	223	209	223	224	251
140	282			212	233	232	220	232	233	253
160	284			221	240	240	230	240	240	253
180	284			230	247	246	237	246	247	254
200	285			238	254	253	247	253	254	254.5
220	285			245	257	257	252	257	257	255
240	284			250	261	261	258	261	261	255
260	284			255	263	263	262	263	263	255
280	279			258	261	261	265	261	261	238

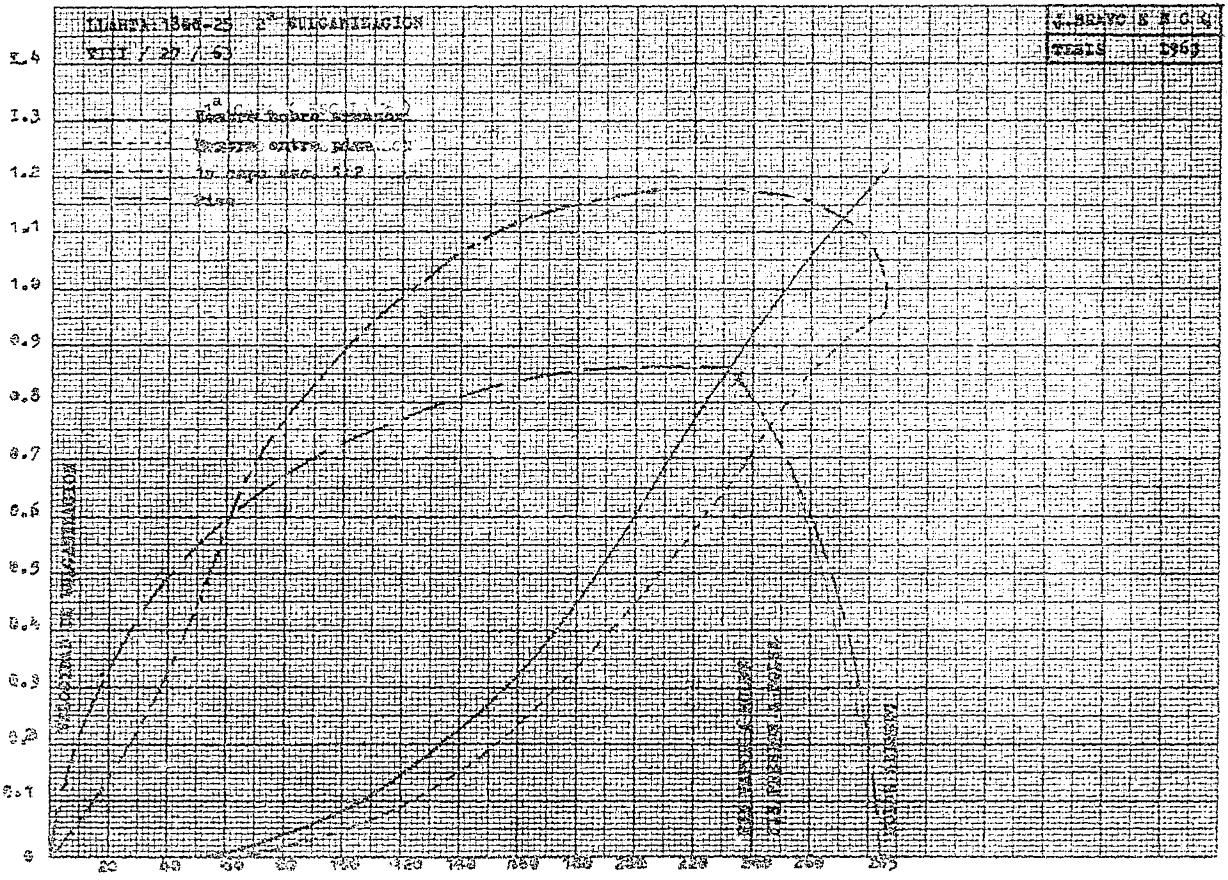
LLANTA 18.00-25 2A. VULCANIZACION.- VELOCIDAD VULC. VS. TEMP.

TIEMPO MINUTOS	1a CEJA COSTADO	2a CEJA	3a CEJA	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO ENTRE PISO	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO SOBRE ARMAZON	HOMBRO SOBRE ARMAZON	ESTERIOR DEL PISO.
20	.11									.16
40	.42									.34
60	1.22			.02			.03			.55
80	1.44			.03			.04			.64
100	1.88			.06			.08			.69
120	2.00			.10			.14			.74
140	2.14			.16			.22			.80
160	2.28			.23			.34			.80
180	2.28			.33			.44			.83
200	2.35			.46			.64			.84
220	2.35			.60			.77			.86
240	2.28			.72			.96			.86
260	2.28			.86			1.10			.86
280	1.94			.96			1.22			.46

Al vulcanizar esta llanta, se rompieron los termopares de la 2a y 3a cejas, pero en vista de que en la vulcanización anterior se vió que no eran problema se dan por buenos.

Al final de la vulcanización no se pudo abrir el molde por - descompostura de los martillos neumáticos hasta una hora después; los enfriamientos están basados en los anteriores:

		Límite min/260°F		
1a Capa Total:	495 min/260	max:	500	OK
Hombro entre piso:	56 min/260	min:	50	OK
Enfriamiento:	80/260			
Total:	136'/260		100-250	OK
Hombro sobre armazón:	76.8 min/260	min:	50	OK
Enfriamiento:	72'/260			
T O T A L :	148.8 min/260		100-250	OK
Piso Total:	220 min/260		200-250	OK



2a VULCANIZACION
VIII / 27 / 63
TESIS 1963
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
275

En nuestro sistema, pondremos: Válvulas de seguridad al tanque y a la bomba. Un acumulador de agua a la salida de la bomba, para evitar pulsaciones de la bomba.

Controles para: Regular presión de la bomba, regular temperatura del tanque.

Un termómetro al tanque para cerciorarnos de su funcionamiento correcto.

El grueso del tanque será de 3/4" de acero al carbón con una resistencia de 100,000 lbs/pulg^2 a la ruptura. Se calculó tomando un factor de seguridad de 5, con la sig. fórmula:

$$t = \frac{PDm}{2SE}$$

t = grueso in.

P = presión de diseño.

Dm= Diámetro en pulgadas.

E = 1 Eficiencia de soldadura.

S = Esfuerzo dividido entre el factor de seguridad.

$$t = \frac{700 \times 42}{2x20000x1} = .735 = .75 = 3/4".$$

Todas las uniones serán radiografiadas.

CONCLUSIONES

1.- La técnica de usar termopares para determinar la vulcanización óptima de las llantas Muevetierra ha demostrado ser económica y de fácil aplicación.

2.- Dado el tipo de vulcanización escogido, de alta presión, es de esperarse un mínimo de defectos y fallas en el servicio.

3.- Rendimiento: Se espera un rendimiento igual o superior al de las llantas importadas, dado que se emplearán la mejor técnica y materiales así como mano de obra.

4.- Al fabricar las llantas Muevetierra en México se logrará una reducción en su costo, debido a la disminución de fletes, impuesto de importación y costo menor de mano de obra.

5.- Dadas las anteriores conclusiones, se consideran satisfactorios los resultados obtenidos, la vulcanización desarrollada, y próximamente ya se dejarán de importar llantas Muevetierra.

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

1.- Technologic Papers of the Bureau of Standards No. 170 "Pyrometric Practice".- Washington Gov. Print. Off 1921.

2.- The Applied Science of Rubber. Ed. by W.J.S. Haunton. London Edward Arnold Publishers Ltd. 1961.

3.- Chemistry and Technology of Rubber. Davis and Blake Reinhold Publishing Corp. New York 1937.

4.- Introduction to Rubber Technology. Ed. by Maurice Morton Reinhold Pub. Corp. New York 1959.

5.- The Vanderbilt Latex Handbook. Ed. by G G Winspear Pub. by R T Vanderbilt Co. Inc.- New York 1954.

6.- The Vanderbilt Rubber Handbook. Ed. by J M Ball Pub. by R T Vanderbilt Co. New York 1942.

7.- A Guide to the Mexican Markets by Marinka Olizar Mexico, D. F. 1961.

8.- Chemical Engineer's Hand Book. John H Perry Ed. McGraw Hill Book Co. N. Y., 1950.

9.- Process Heat Transfer by Donald Kern McGraw Hill Book.- N. Y., 1950.

10.- Unit Operations of Chemical Engineering McCabe and Smith. McGraw Hill Book Co.- N.Y., 1956