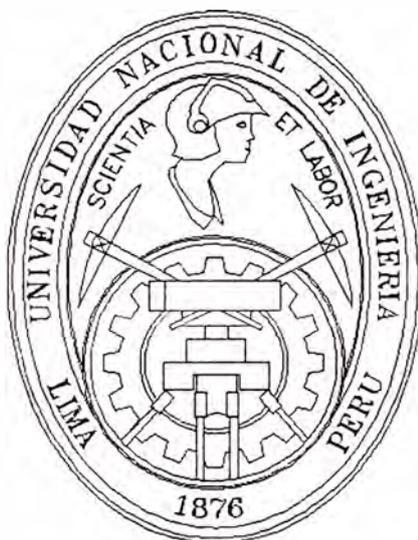


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
Y MANUFACTURERA**



INFORME TECNICO

PARA OBTENCION DEL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO QUIMICO

**"CALIDAD Y TECNOLOGIA EN LA FABRICACION DE LLANTAS
DESDE EL PUNTO DE VISTA DE UN LABORATORIO
ANALITICO"**

PRESENTADO POR :
CARLOS BENJAMIN PALACIOS HUENALAYA
CODIGO : 750239-K

Promoción 83 - I

**UNI - Noviembre
1997**

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi Madre, la Sra. Dora HUENALAYA, quien con su esfuerzo ,dedicación, paciencia e invaluable apoyo han hecho posible que pueda concluir un trabajo que se nos hacía distante

AGRADECIMIENTO

Primeramente deseo dar gracias a Dios por que sin El nada es posible.

Mi agradecimiento en forma muy especial a la Sra. Dora FIGUEROLA ,quien desde un principio nos apoyó y ha sido artífice de todas nuestras satisfacciones personales y profesionales,aún a la distancia.

Gracias a la Compañía GOODYEAR del PERU S.A. que nos brindó la oportunidad de poder participar dentro de su organización,principalmente en el Dpto. de Calidad y Tecnología (Ex-Dpto.de Desarrollo y Análisis del Producto) al cual pertenece el Laboratorio Analítico, donde hemos desarrollado nuestra labor profesional.

Hay muchas personas que nos apoyaron , enseñaron y orientaron con la finalidad de cumplir nuestros objetivos . Sus nombres siempre permanecerán en nuestra memoria y en nuestro corazón con todo respeto y cariño en señal de agradecimiento..

INDICE	Pag.
I.- Introducción	7
II.- Actividad Profesional	9
A.- Organo Empresarial	9
B.- Relación Profesional .-Empleador	
Organigrama	10
Lay-out de la Planta	11
C.- Trabajo Profesional desarrollado	12
D.- Funciones desempeñadas	15
III.- Industria de las Llantas	22
A.- Compuesto de Caucho	22
B.- Materias Primas	23
1.- Cauchos	23
a - Caucho Natural	23
b.- Caucho Sintético	24
2.- Negro de Humo	25
a - Procesos de obtención	25
a.1.- Proceso de Contacto o Canal	26
a.2.- Proceso Térmico	26
a.3.- Proceso de Horno	26
b.- Propiedades del Negro de Humo	29
b.1.- Tamaño de partícula	29
b.2.- Estructura	31
b.3.- Area Superficial	31
C.- Otras Materias primas	32
1.- Cargas y/o rellenos	33
2.- Ayudas de Proceso	33
3.- Agentes Protectores	34
4.- Activadores de Aceleración	35
5.- Agentes vulcanizantes	36
6.- Aceleradores	37
7.- Antioxidantes	37
8.- Suavizantes (Plastificantes fisicos)	39
9.- Alambre de Pestaña	42
10.- Telas	42

	Pag.
IV.- Proceso de Fabricación	43
A.- Operaciones	44
1.- Mezclado	44
2.- Calandreo	44
3.- Extrusión	46
4.- Corte de pliegos	46
5.- Construcción de Pestañas	46
6.- Construcción de llantas	47
7.- Vulcanización	48
V.- Tipos de Llantas	49
1.- Llantas de pasajero convencional	50
2.- Llanta de pasajero Radial	51
3.- Llanta de Camioneta	51
4.- Llantas de Camión	52
VI.- Componentes de una Llanta	52
1.- Rodado	53
2.- Carcasa	53
3.- Pliegos de Carcasa	54
4.- Costado	54
5.- Pestaña	54
6.- Antifricción	54
7.- Cubrepestañas	55
8.- Absorbedores	55
VII.- Descripción de Equipos del Laboratorio	56
1.- Autoclave	56
2.- Molino del laboratorio	56
3.- Prensa hidráulica	57
4.- Rheómetro R-100	59
5.- Rheómetro MDR-2000	62
6.- Viscosímetro Mooney	66
7.- Tensiómetro	68
8.- Rebote (Resiliencia)	72
9.- Dureza (Durómetro)	73

	Pag.
VIII.- Vulcanización	75
1.- Definición	75
2.- Curva de vulcanización	81
3.- Etapas de vulcanización	82
IX.- Métodos de Análisis	84
1.- Viscosidad Mooney	86
2.- Scorch Mooney	87
3.- Gravedad Específica	88
4.- Determinación de Cenizas	90
5.- Extracción Acetónica	91
6.- Hinchamiento	92
7.- Rheología	93
7.1.- Propiedades mecánicas dinámicas	94
7.2.- Revisión de las propiedades básicas	96
7.3.- Propiedades dinámicas en Rheometría	97
X.- Normas de Calidad	98
XI.- Calidad en la Actualidad	98
XII.- Resumen	103
XIII.- Conclusiones	105
XIV.- Bibliografía	106
XV.- Apéndice	
a).- Abreviaturas	108
b).- Cuadros (Listado)	109
c).- Figuras (Listado)	121

L- INTRODUCCION

El suscrito ingresa como practicante de Ing. Química al Dpto. de Desarrollo y Análisis de Productos de la Compañía Goodyear del Perú en el año 1981 cuando aún cursaba el 8vo ciclo en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA .

Se inicia en las Prácticas pre-profesionales en el Laboratorio Analítico, pasando posteriormente a la Sección de Compuestos, donde brinda apoyo a los Ingenieros y personal estable en las diferentes actividades de la Planta .

Ingresa formalmente a desempeñar una labor profesional desde el año 1984 siendo destacado al Laboratorio Analítico (Sección de Pruebas Químicas) con el cargo de Analista Químico. En ese momento el Laboratorio Analítico no contaba con personas preparadas académicamente para desarrollar las diferentes actividades y programas que la Corporación empezaba a implementar por esos días .

Por tal motivo la Compañía considera oportuno enviar al Personal a recibir entrenamiento en el Centro Técnico de Luxemburgo por un corto período coincidiendo con un Seminario sobre Equipos propios del Laboratorio , además de visitar y participar en los diferentes Laboratorios del Centro Técnico durante dos semanas..

El Entrenamiento sirvió para replantear diferentes puntos en la labor cotidiana del Laboratorio, así como la renovación y la implementación de pruebas que por desconocimiento no se llevaban a cabo , incluso ir modificando poco a poco el lugar de Trabajo para conseguir convertirlo en un ambiente agradable y funcional para el personal que labora en el Laboratorio.

Se implementan de manera correcta una serie de Pruebas Químicas, las que se venían efectuando con ciertas deficiencias ocasionando reclamos innecesarios a los Proveedores.

Al contarse con los métodos estandarizados por la Casa Matriz (Goodyear-Akron USA), el punto era interpretarlos correctamente, contar con el Material y Equipos especificados y proceder a su ejecución de manera correcta .

De la misma forma se inician Programas de Aprobación de nuevos Proveedores de

Materia Prima ,con quienes se trata directamente , a fin de conocer sus procesos Productivos y obtener información de algún problema con su material, de tal modo que puedan corregirlo y poder continuar con el procedimiento establecido para convertirse en un Proveedor aprobado por la Compañía Goodyear

Una vez por año se llevaba a cabo un intercambio de resultados de pruebas Químicas y Físicas en materiales proporcionados por Luxemburgo a fin de chequear la repetibilidad y confiabilidad de las pruebas efectuadas en nuestro Laboratorio ,en ese período se tiene a nuestro cargo la responsabilidad de controlar el estado de Vulcanización de los Compuestos de Caucho que eran mezclados . Para efectuar esta labor se tenían que operar los Equipos pertinentes así como realizar pruebas colaterales que permiten tomar una decisión para el manipuleo correcto de los Compuestos en Planta.

Del mismo modo se efectúan pruebas de rutina en los diferentes Compuestos,de tal forma que se vayan acumulando datos para ser procesados estadísticamente a fin de observar el comportamiento de manera histórica y relacionarlos con los problemas que se presentan en la línea de Producción.

Finalmente se me nombra Coordinador del Laboratorio siendo asignados a nuestro cargo ambas Secciones del mismo y el manejo del personal que labora en ellas , una parte importante de la labor fue la puesta en marcha de Equipos nuevos ,uno de los logros fue el contribuir en la instalación de un Equipo de Control de Compuestos denominado “ Rheómetro de Dado Oscilante”, equipo con tecnología moderna que permite un control y evaluación más precisa de los batches de cada uno de los Compuestos que se chequean en el Laboratorio.

Otra de las responsabilidades principales es el cumplimiento oportuno de los requerimientos de las diferentes Areas que solicitan nuestra participación ,como son el Dpto. Técnico, Almacén ,Calandria, Zona del BB (Banbury) ,Entubadora, Máquinas de Construcción y Prensas.

El utilizar un material correcto en la Producción es responsabilidad del Laboratorio Analítico.

II.- ACTIVIDAD PROFESIONAL

A.- Organo Empresarial

Nombre : Cía .GOODYEAR DEL PERU S.A.

Dirección : Av. Argentina Nº 6037 - Carmen de la Legua - Callao

Sector Industrial

Organigrama : Ver Cuadro en Página Nº 10.

Sector al que pertenece : Químico Industrial

Línea de Producción

- Llantas de Camión
- Llantas de Camioneta
- Llantas de Auto
- Bandas de Reencauche
- Pegamentos de Reencauche

Lay-Out de las unidades de Producción : Ver Cuadro en Página Nº 11

B.- Relación Profesional-Empleador

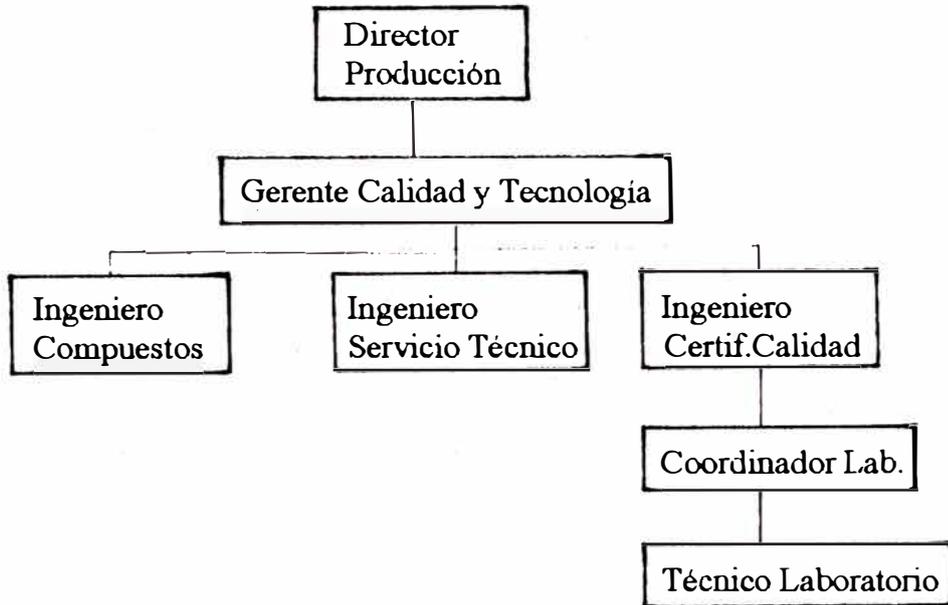
- Condición : Nombrado

Documentos probatorios :

- Constancia de Trabajo
- Aviso de Fábrica

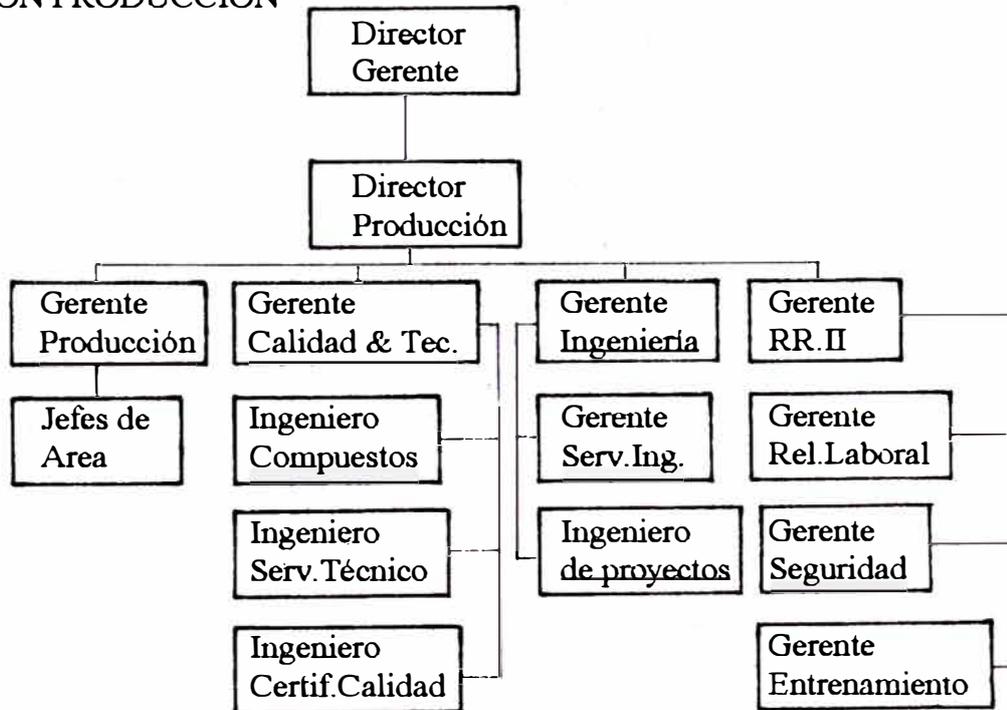
ORGANIGRAMA

DPTO. CALIDAD & TECNOLOGIA

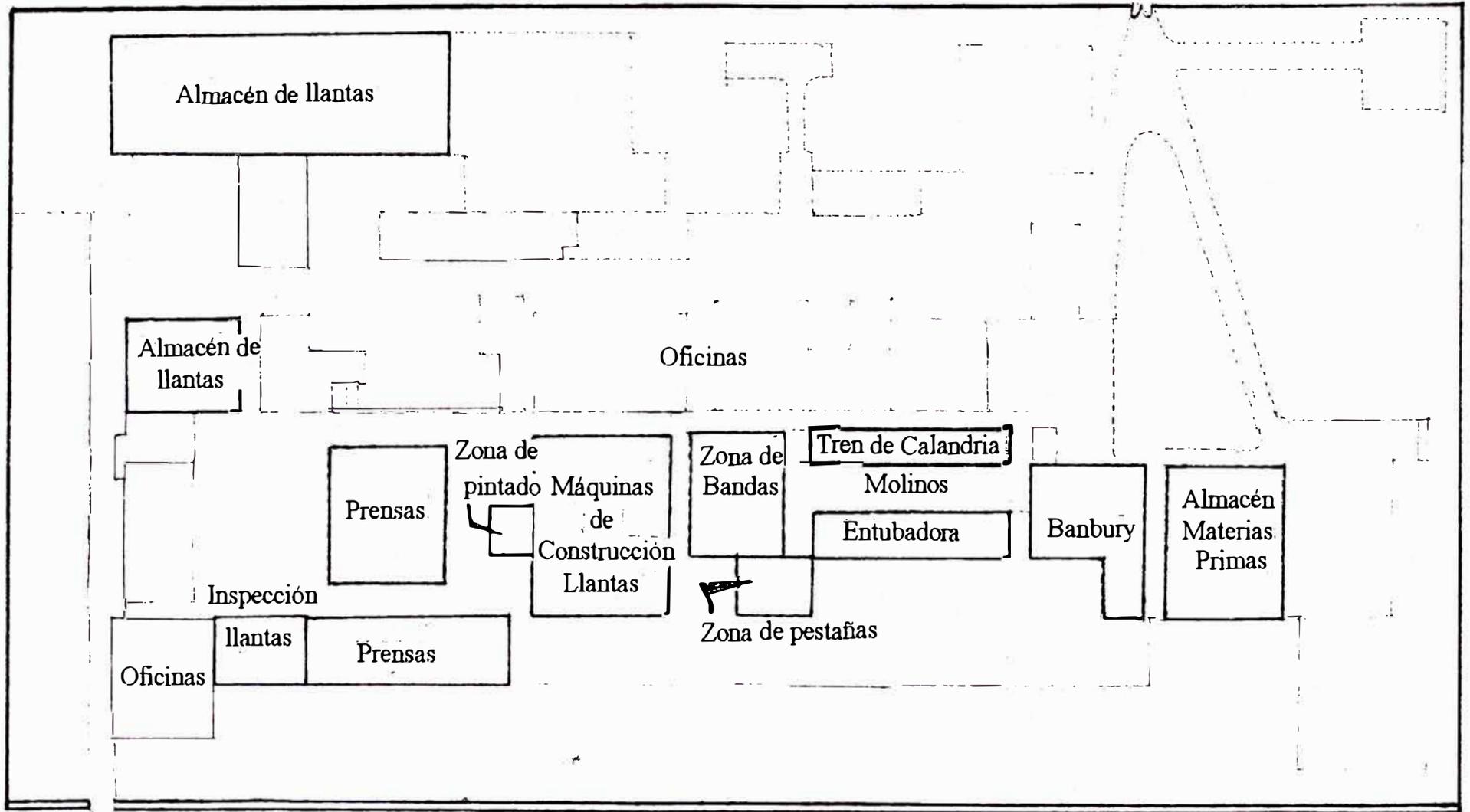


ORGANIGRAMA

DIVISION PRODUCCION



LAY OUT DE PLANTA



Escala : 1/2000
1 cm = 20 mt

C.- Trabajo profesional desarrollado :

C.1. Cargo : ANALISTA QUIMICO

Período : Seis meses

Fechas : Mayo 1984 - Octubre 1984

Empresa : Compañía Goodyear del Perú S.A.

Responsabilidad : Efectuar el Control de Calidad de las Materias primas usadas en la
Industria de Llantas

C.1.1. Trabajos :

- 1.- Implementación de nuevas Pruebas Químicas de acuerdo a Métodos Estandarizados y basados en las Especificaciones de Compra de cada Materia Prima.
Tiempo : Continuo
Grado de participación : 100 %

- 2.- Calificación de nuevos Proveedores y Aprobación de los mismos en coordinación con el Centro Técnico de Luxemburgo.
Tiempo : Cuando era requerido
Grado de participación : 70%

- 3.- Realización de Pruebas Químicas cruzadas entre los Laboratorios del Centro Técnico de Luxemburgo y Goodyear del Perú.
Tiempo : Una vez por año
Grado de participación : 50 %

C.2. Cargo : TECNICO DE LABORATORIO

Período : Cuatro años y medio

Fecha : Noviembre 1984 - Mayo 1989

Empresa : Compañía Goodyear del Perú S.A.

Responsabilidad : Efectuar el Control de Calidad en Compuestos de Caucho
de la Industria de llantas.

C.2.1. Trabajos :

- 1.- Determinación del estado de Vulcanización de los compuestos mediante el uso de los Equipos pertinentes ,a saber : Rheómetros.
Tiempo : Continuo
Grado de participación : 100%

- 2.- Realización de Pruebas Físicas en los Compuestos de Caucho usados en la fabricación de llantas/ Cámaras y Productos Industriales.
Tiempo : Continuo
Grado de participación : 100 %

- 3.- Control estadístico de variables importantes que influyen en el Proceso productivo.
Tiempo : Continuo
Grado de Participación : 100 %

- 4.- Realización de Pruebas Físicas cruzadas entre Laboratorios del Centro Técnico de Luxemburgo y Goodyear del Perú
Tiempo : Una vez por año
Grado de participación : 50 %

C.3. Cargo : COORDINADOR DE LABORATORIO

Período : Ocho años

Fecha : Junio 1989 - Actualidad (1997)

Empresa : Compañía Goodyear del Perú S.A.

Responsabilidad : Asegurar que el Laboratorio ejecute las Pruebas Físico-Químicas a fin de continuar con la marcha del Proceso productivo en Planta.

C.3.1.Trabajos :

1.- Puesta en marcha del Rheómetro MDR-2000 en el Sector de Pruebas Físicas

Tiempo : Dos meses

Grado de participación : 40 %

2.- Mantener en buen estado de funcionamiento los diferentes Equipos usados en el Laboratorio Analítico, así como cumplir con los programas de Calibración de los mismos.

Tiempo : Continuo

Grado de participación : 70 %

3.- Proporcionar a quien corresponda los diferentes Reportes basados en los resultados de las pruebas efectuadas en el Laboratorio Analítico.

Tiempo : Una vez por mes

Grado de participación : 40%

4.- Desarrollar y proporcionar la información pertinente para la implementación de programas en la RED informática.

Tiempo : Continuo

Grado de participación : 50 %

5.- Entrenamiento del personal del Laboratorio en sus diferentes responsabilidades .

Tiempo : Continuo

Grado de participación : 70 %

D.- FUNCIONES DESEMPEÑADAS

D.1. Técnico de Laboratorio

D.1.1. Actividad 1: Determinación del estado de Vulcanización de los Compuestos de Caucho usados en la fabricación de las llantas.

Objetivo : Proporcionar a las demás áreas de Producción el material controlado y dentro de Especificación, evitando el uso de material defectuoso.

Alcance : Abarca la totalidad de los Compuestos que son utilizados en las diferentes partes de la llanta y los Materiales para la venta.

Características

- Se hace uso de Equipos que permiten verificar el Estado de vulcanización del Compuesto ,equipos que han ido cambiando con el correr de los años.
- Se controla cada Batch producido, correspondiente a cada Compuesto.
- Se obtiene y se analiza los parámetros necesarios para decidir la liberación de los batches correctos hacia el Dpto. de Producción .
- Se retiene temporalmente los batches que no están correctos a fin de someterlos a otras pruebas que permitan tomar una decisión final

Alternativas de Solución

Las alternativas se han venido dando de acuerdo a las circunstancias, ya que los Métodos de Control y los equipos han ido mejorando de acuerdo a las necesidades de calidad , rapidez , precisión ,mejor control y principalmente lograr el objetivo de contar con una correlación entre el proceso de mezcla (donde se inicia todas las etapas productivas) y los resultados obtenidos en la Operación de Control.

Inicialmente, se contaba con un Tensiómetro básico que fue usado por varios años ,en el que se ejercía una fuerza de Tensión o estiramiento sobre un O´ring, el cual era previamente vulcanizado durante unos minutos a una temperatura dada (estas condiciones dependían del Com -

puesto con el que se estaba trabajando).

El O´ring era estirado por medio de un brazo mecánico contraído hasta una distancia, la cual era equivalente a un porcentaje de Elongación pre-determinado.

El panel con el que contaba el Equipo era un disco en el que se registraba la Fuerza requerida para estirar el O´ring del compuesto de Caucho.

Habiéndose establecido los límites previamente, para cada compuesto ; aquellos batches estirados con fuerzas dentro de los límites eran considerados como correctos y autorizados para ser usados en las siguientes Operaciones del proceso productivo.

Si bien este procedimiento era rápido, no permitía conocer en varios aspectos el comportamiento del compuesto durante el proceso de vulcanización.

Posteriormente se contó, por el año 1981, con un nuevo Equipo, denominado Rheómetro, el cual permitía graficar una curva continua, mostrando el esfuerzo cortante que se desarrollaba en el compuesto conforme se llevaba a cabo la Vulcanización del mismo.

El equipo constaba principalmente de una cavidad formada cuando los platos superior e inferior, calentados eléctricamente, eran cerrados neumáticamente ; cada plato tenía un pequeño molde con estrías, denominado “dado”.

En el dado inferior se tenía sujetado un rotor bicónico , el cual mediante un pequeño motorcito y una conexión adecuada oscilaba a razón de un determinado grado de Arco.

Sobre este rotor se colocaba una muestra del compuesto a chequear, la muestra debía tener un peso especificado y dentro de tolerancia; luego los platos eran cerrados ejerciendo una presión de 50 psi., los “dados” se encontraban a una temperatura establecida previamente y debían mantenerse dentro de tolerancia a fin de que las Curvas Rheométricas sean representativas y comparables entre sí . Desde el momento en que eran cerrados los platos , el proceso de la Vulcanización se iniciaba.

El Equipo contaba con un graficador, el cual recibía las señales desde la base del rotor en forma de Torque, siendo estos valores graficados como una curva continua mediante una pluma con tinta.

Contando con dicha curva, era posible determinar, mediante cálculos los diferentes parámetros que permitían saber si el compuesto de Caucho cumplía con las especificaciones establecidas.

Ya que cada compuesto utilizado tiene un comportamiento diferente durante la Vulcanización, debían establecerse límites específicos para cada uno de los parámetros considerados en la liberación del compuesto, límites que habían sido determinados mediante cálculos previos en forma manual.

Con el uso de las tarjetas Electrónicas y las computadoras se vio la necesidad de hacer uso de estas facilidades, es así que se reemplazó el graficador por un Sistema de Monitoreo para el Rheómetro, el cual permitiría recibir las señales del Rheómetro y convertirlas en señales electrónicas para que por medio de un programa permita obtener directamente los parámetros necesarios para la Liberación e incluso proporcionar mensajes de error en caso de que los parámetros no estén dentro de los límites de liberación indicando la no conformidad del material, permitiendo separar el Batch que generó tales resultados.

Si bien, con este equipo complementario ya no hay necesidad de efectuar cálculos manuales, la resolución de la curva no es muy buena porque en pantalla no aparece una curva continua sino entrecortada, además no se superpone una curva encima de la otra, por lo que no se puede comparar un batch contra otros en forma visual; sin embargo se obtiene en el listado parámetros adicionales importantes.

Los límites de liberación son establecidos independientemente por cada Planta, ya que están en función de las formulaciones de los compuestos que son utilizados en la fabricación de las Llantas.

El término de Formulaciones está relacionado con el conjunto de ingredientes usados en determinadas cantidades para obtener el compuesto deseado que cumplirá una función especial dentro de la llanta y que deberá satisfacer ciertas propiedades físicas, principalmente las Propiedades Tensiométricas.

Estas Propiedades Tensiométricas serán las que determinarán si los resultados del com-

puesto producido es usado como base para el establecimiento de los límites de liberación de cada Código.

Existen así mismo condiciones de Operación establecidas para llevar a cabo el Control de los compuestos con el uso del Rheómetro, entre estos tenemos: el tamaño de la muestra, el peso de la muestra, el tiempo de cargado y descargado, esta última condición depende si el compuesto es de fácil remoción o no. Así mismo, las tolerancias establecidas para la Temperatura no deberían ser excedidas. El tiempo de corrida de la muestra y la estabilización de la Temperatura también deberán ser respetados.

Otro punto importante es la Calibración y el Mantenimiento del Equipo, puesto que de ello depende la repetibilidad y la confiabilidad de los resultados que son obtenidos.

Conforme pasa el tiempo, se producen avances en la fabricación de los Equipos que son utilizados en la Industria del Caucho y uno de los objetivos es tratar de estar acorde con dichos avances, es por ello que se obtiene uno de los últimos modelos de Rheómetro en el mercado, cuya descripción es "Rheómetro Monsanto MDR-2000". Este equipo es una versión moderna que trabaja con tarjetas Electrónicas, tiene un microprocesador que permite obtener rápidamente la estabilización de la Temperatura de trabajo y mantenerlo con una variación insignificante, esto es de gran utilidad ya que esta variable se mantiene lo más estable posible.

Por otro lado, el tiempo de carga y descarga se minimiza, ya que el retiro de la muestra se hace rápidamente, pues no se trata de una masa que rodea completamente al rotor oscilante (Modelo R-100), sino que es una lámina vulcanizada de caucho de fácil remoción.

En el nuevo Rheómetro los dados son calentados por resistencias eléctricas y es el dado inferior el que oscila un arco de 0.5 grados, ejerciendo el esfuerzo cortante contra la muestra en forma directa mientras se produce el proceso de Vulcanización.

Como en el caso del Rheómetro R-100, el Sistema integrado del MDR-2000 efectúa el cálculo directo de los parámetros que se necesitan para evaluar el comportamiento del Compuesto de Caucho. En el caso de cumplir con los Límites de liberación establecidas previamente para cada Compuesto, se autoriza el uso del mismo en la línea de Producción.

Hay procedimientos que se han establecido para ejecutar el trabajo operacional y para proceder en el caso de obtener Compuestos que no cumplan con los límites de liberación especificados.

Los Métodos empleados son una combinación de los Métodos ASTM, del Manual de Operación del Rheómetro R-100/ MDR-2000 ,del Sistema de Monitoreo propio de la Empresa y de los procedimientos establecidos por la Casa matriz de Akron (USA).

En el capítulo correspondiente se mostrará más información referente a los Equipos en mención.

D.1.2. Actividad 2 : Realización de Pruebas Físicas en los Compuestos de Caucho.

Objetivos : Determinar diferentes Propiedades Físicas del Compuesto de Caucho que sirvan como complemento de la evaluación de la formulación de dicho material de Caucho.

Alcance: Se efectúan estas pruebas a la mayoría de los Compuestos de Caucho que se producen. Unos años atrás también se incluían a los Productos Industriales y Cámaras.

Características

- Preparación y acondicionamiento de las muestras con las cuales se ha de trabajar.
- Seguimiento de los procedimientos escritos en los diferentes Manuales.
- Proporcionar en el tiempo establecido los resultados de las Pruebas Tensiométricas de los materiales sospechosos obtenidos en la Prueba del Rheómetro ,a fin de tomar una decisión final y disponer del material adecuadamente para que continúe el Proceso productivo.
- Proceder a la realización de Pruebas Físicas para determinar las características específicas de la formulación que está en línea de Producción o en prueba, con la finalidad de decidir si cumple con los requerimientos deseados.

Alternativas de Solución:

En el caso de las Pruebas Físicas, ya están establecidos los Métodos que se han de seguir, esto se cumple también en las otras Plantas de la organización ,la desviación de las mismas ocasionaría grandes diferencias , lo que no permitiría efectuar un cruce de información y efectuar comparaciones.

Se menciona a continuación las diferentes pruebas que se efectúan en el Laboratorio Analítico (Sección de Pruebas Físicas) : Autográfica , Viscosidad ó Plasticidad, Gravedad Específica, Scorch, Rebote y Dureza entre otros.

Más adelante , detallaremos las diferentes pruebas que se realizan.

D.2.- Analista Químico

Actividad: Implementación de Pruebas Químicas de acuerdo a las Especificaciones de Compra de los materiales que se utilizan en la Industria de las Llantas.

Objetivo : La finalidad es proporcionar al área de Mezclado (Banbury) los materiales que constituyen los ingredientes usados en las formulaciones correspondientes a cada Compuesto.

Alcance : Los materiales involucrados son los siguientes :

Cauchos, Negros de Humo, Aceites y los llamados "Pigmentos Blancos", término con que se conoce en Goodyear a los Aceleradores, Agentes de Vulcanización, Retardadores, Antioxidantes, Antiozonantes, Ceras y diferentes tipo de carga.

Características:

- Recepción de las muestras que son proporcionadas por el Almacén .
- Se procede a efectuar las Pruebas basándose en la correspondiente Especificación de Compra. En dicho documento se consigna las pruebas Físicas y Químicas que deberían efectuarse a dicho material.
- La Especificación de Compra también consigna los Métodos que deberían utilizarse en cada prueba, los cuales están reunidos en un Manual de Pruebas Químicas.
- El Método de prueba es un documento en el que se indica el procedimiento a seguir para efectuar las pruebas, en él se consigna también los Reactivos y Equipos necesarios.
- Después de chequear el material, los resultados de la prueba son calculados y comparados con los valores indicados en la Especificación de Compra. Si están correctos, el material será autorizado para ser usado en la zona de mezclado, asegurando la obtención de una correcta formulación.

III.- INDUSTRIA DE LAS LLANTAS

Bajo este título se desarrolla un conjunto de temas que están relacionados con la Industria de las llantas , la finalidad es proporcionar una visión general sobre la misma.

Actualmente en el Perú contamos con dos fábricas de llantas, a saber :

Compañía Goodyear del Perú S.A. , que opera desde el 23 de Julio de 1943

Compañía Lima Caucho (Ex-BF Goodrich) , que opera desde 1957

Ambas Compañías producen y comercializan todos los tipos de llantas de las diferentes medidas que requiere el parque Automotor del país.

A.- COMPUESTO DE CAUCHO

Un compuesto de Caucho contiene aproximadamente nueve tipos de ingredientes .El más importante de éstos es el Polímero ,otros son las llamadas Cargas, tales como el Negro de Humo que refuerza y facilita la procesabilidad, además de los Agentes Vulcanizantes necesarios para la reacción de encadenamiento. Otros ingredientes son los agentes resistentes al Envejecimiento para retardar la degradación, Ablandadores para facilitar la procesabilidad, Aceleradores para incrementar la velocidad de Vulcanización, Activadores para formar complejos químicos con los Aceleradores e Ingredientes misceláneos, dentro de este último grupo tenemos Retardadores, Colorantes ,Abrasivos y Agentes contra el afloramiento.

El uso de un ingrediente depende de su costo, disponibilidad de procesabilidad, equipo de mezclado y de las propiedades de Vulcanización requeridas.

Las fórmulas de Caucho están generalmente basados en un total de cien partes de Caucho (RHC) "Rubber Hundred Composition".

La mezcla puede ser efectuada en un Molino o en un mezclador interno (Banbury) y el compuesto es procesado y obtenido en la forma deseada para ser usado en la zona de Construcción de llantas. Cuando las llantas son introducidas en las "Prensas" bajo condiciones establecidas de calor y presión, se produce el proceso de la Vulcanización; durante este proceso, las moléculas de Caucho reaccionan con los Agentes vulcanizantes para formar una estructura tridimen-

sional transformando al Compuesto suave y plástico en un producto resistente y elástico.

Los cinco parámetros críticos relacionados con la Vulcanización son: el Sistema de Vulcanización (uso de Azufre, sin azufre, peróxidos, óxidos de metales, etc.), la Temperatura, el Tiempo antes que empiece la Vulcanización, la velocidad a la cual ocurre la Vulcanización y la extensión de la Vulcanización.

Las formulaciones de los compuestos de Caucho (Ver Cuadro N° IX en Pag. N° 118) son diseñados para alcanzar ciertas propiedades finales (Ver Cuadro N° X en Pag. N° 119), estas propiedades son esencialmente viscoelásticas porque responden a varios tipos de esfuerzo durante su tiempo de vida. Entonces, un primer apoyo de la persona encargada de las formulaciones es seleccionar un Polímero apropiado, luego elegir el Sistema de Vulcanización (que depende del Polímero), verificar la procesabilidad, el costo y principalmente las propiedades físicas del Compuesto final.

B.- MATERIAS PRIMAS

Como en toda Industria, la fabricación de Llantas requiere de varias materias primas, de los cuales, aproximadamente el 80% son importados y el 20% restante son obtenidas en el Mercado nacional. Las materias primas (Ver Fig. N° 4 en Pag. N° 125) usadas en la industria de Llantas pueden clasificarse en los siguientes rubros principales :

1.- CAUCHOS

El Caucho es un tipo de polímero insaturado llamado Elastómero y se caracteriza porque, gracias a los dobles enlaces existentes, estos polímeros permiten la incorporación de azufre a fin de poder dar lugar al proceso llamado Vulcanización.

Los Cauchos usados en la Industria de las Llantas son del tipo Natural y/o Sintético.

a.- CAUCHO NATURAL

Químicamente es un Poli-isopreno y se obtiene de árboles que pertenecen principalmente a la flora de los países orientales, tales como : Malasia, Indonesia y Singapur.

El Caucho Natural se clasifica de acuerdo al grado de impurezas que contiene y el uso principal de los mismos depende de esta condición. Se puede mencionar ,por ejemplo

Caucho Natural del tipo SMR-5 (Standard Malasian Rubber), su nomenclatura indica que se trata de Caucho Natural grado Técnico, producido en Malasia y contiene un máximo de 0.05% de impurezas.

De igual manera ,el tipo SMR-20 contiene 0.20% de impurezas. Ambos tipos se comercializan en forma de bloques rectangulares.

De acuerdo a los requerimientos de los usuarios del Caucho Natural, este producto debe cumplir con determinadas características que los fabricantes deben garantizar. Las características exigidas al Caucho Natural que se usa en la Industria de Llantas se presentan en el Cuadro I (Ver Pag. Nº110). Las pruebas Standard de Control y Certificación del Caucho Natural están bajo el control del “Rubber Research Institute of Malasya” (RRIM) ,las cuales se usan también para el control del Caucho Natural que emplea la Industria de Llantas.

b.- CAUCHO SINTETICO

El Caucho sintético es el resultado de una Polimerización de Monómeros de una misma ó diferente estructura química obtenidos artificialmente por procesos diferentes.

En el Perú no se produce ningún tipo de Caucho Sintético, éstos son importados principalmente de México ,Argentina y Estados Unidos. Existen muchos tipos de polímeros de diferente estructura química que son llamados Elastómeros , entre ellos tenemos:

- Cloroprenos, Butilo Halogenado, Estireno butadieno ,Polibutadieno,Acrilo Nitrilo, Terpolímeros y otros.

Dentro del grupo de Cauchos Sintéticos que son usados en la Industria de Llantas tenemos principalmente el Polibutadieno y el Estireno-Butadieno.Sus características son mostradas en el Cuadro II (Ver Pag.Nº 111).

Los Cauchos arriba mencionados ingresan en diferentes proporciones en las formulaciones de los compuestos que son usados para preparar los Componentes de una llanta.

En algunas formulaciones se utiliza una combinación de Caucho Natural y Caucho Sintético, los cuales proporcionan al compuesto, entre otras propiedades, la debida Resistencia a la ruptura, buena Elongación, resistencia a la Abrasión , adecuada Adhesión y Resiliencia.

2.- NEGRO DE HUMO

El llamado Negro de Humo es otra materia prima usada en la Industria de Llantas como Agente Reforzante .El Negro de humo es un material que consiste de Carbono en estado elemental, las partículas son de forma casi esférica, las cuales están enlazadas entre sí, formando agregados del tamaño de un coloide.

Una definición internacional aceptada para este material es que el Negro de Humo consiste esencialmente de Carbono elemental en forma de partículas coloidales casi esféricas y agregados de partículas cohesionadas, consistente en más de 90% de Carbono, los demás elementos son Oxígeno, Hidrógeno y el Azufre. El material es obtenido por combustión parcial ó descomposición térmica de Hidrocarburos.

Para tener una idea del tamaño de las partículas de este material, se puede decir que casi cuatro millones de estas partículas pueden ser colocadas en una moneda de un centavo americano, similar a una circunferencia de 19 mm de diámetro.

Este material es muy antiguo, los egipcios en el Siglo XVI A.C. lo usaban ; en el siglo III después de Cristo fue producido por los Chinos y era conocido como Negro de lámpara, era usado en tinta y colorantes. La manera en que lo obtenían era quemando Aceite con una deficiencia de aire y reunían el Negro de Humo en una lámina de porcelana. El Negro de Humo era raspado y recolectado en un envase y usado en la forma original .

a.- Procesos de obtención

Actualmente los principales Métodos de obtención del Negro de Humo son :

a.1.- Proceso de Contacto ó Canal

Este método usa gas Natural como alimentación. Un ejemplo sencillo para mostrar este proceso sería usar una vela y una superficie de fierro .La llama sería colocada tocando justo la superficie y el Negro de Humo sería depositado sobre ella, una cuchilla se movería a travez de la superficie y la rasparía retirando el Negro de Humo sobre una faja transportadora, la que llevaría el material recolectado a la zona del peletizado y empacado .

Su uso ha sido prácticamente eliminado debido al hecho que el proceso es ineficiente y el gas es muy costoso.

Del mismo modo ,el proceso productivo origina problemas de contaminación ambiental, este proceso es utilizado solamente cuando el Negro de Humo se va usar en tintas e Industrias de pinturas .

a.2.- Proceso Térmico

El Negro de Humo es producido a partir del gas natural, pero por medio de un proceso cíclico. La cámara de reacción tiene material refractario en sus paredes, la cual es pre-calentada hasta llegar casi a los 1,371 °C, luego, el gas es admitido y se mantiene la reacción hasta que la temperatura descienda hasta cerca de los 982 °C y entonces la Cámara de reacción es calentada nuevamente. Con este proceso ,se obtiene mejores rendimientos y el problema de la contaminación ambiental disminuye.

El proceso Térmico produce partículas relativamente grandes comparadas con los Negros de Humo obtenidos por los procesos de Contacto o de Hornos ,por lo tanto,este Negro de Humo no produce un reforzamiento significativo en el Caucho.

Sin embargo,es usado en algunas aplicaciones donde se requiera cargas altas y baja generación de calor,esto debido a las partículas grandes que se obtienen con este Método.

a.3.- Proceso de Horno

Estos Negros de Humo son producidos por una combustión parcial ,controlada y contí-

nua de una alimentación de Hidrocarburos altamente aromáticos. La formación del Negro de Humo se lleva a cabo en una Cámara de reacción, donde el gas Natural y/o el aceite es quemado para proporcionar la mayor cantidad del calor necesario a fin de convertir la alimentación de los altos Aromáticos en Negro de Humo.

Las dos características principales del Negro de Humo: el tamaño de partícula y la estructura, son establecidos y controlados en el Reactor.

El Proceso de Horno, donde se obtiene el Negro de Humo, consiste de un Reactor en el cual la alimentación es dividida en una Unidad Colectora donde el Carbono es separado de la combustión de los gases y de un Peletizador, éste último convierte el Negro de Humo en pellets por un proceso húmedo; finalmente hay una Unidad de Secado, donde los pellets son secados y separados de materiales extraños antes de ser almacenados, empacados y embarcados.

El reactor típico mostrado en la Fig. Nº 2 (ver Pag. Nº 124) consiste de tubos cilíndricos forrados con materiales refractarios de 90-99 % de Alúmina "Precast", colocadas de cierta forma para mantener dimensiones internas precisas. Estos reactores pueden ser verticales u horizontales.

El crackeo de la alimentación es iniciada en la zona de la combustión, donde cantidades controladas de una alimentación consistente en gas pre-calentado u otro combustible y el aire, son introducidos; el gas flameado crea una atmósfera muy turbulenta que promueve una rápida dispersión de la alimentación y una rápida transferencia de calor. La temperatura de la alimentación se incrementa desde 370 °C a 1900 °C en 1 a 2 milisegundos y el Hidrocarburo es convertido en Carbón.

Los procesos, por los cuales la alimentación de los aromáticos es convertido en Carbono, son detenidos por adición directa de agua, lo que disminuye la temperatura a 540° C y detiene la reacción. La mezcla de carbono y gases de combustión, conocido como "flujo humeante", es posteriormente enfriado por una serie de intercambiadores de calor y extinguidores secundarios. El calor recuperado es usado para precalentar la alimentación y el aire.

En esta etapa del proceso, las tres propiedades fundamentales del Negro de Humo

Tamaño de partícula, Área superficial y Estructura son alcanzadas.

El tamaño de partícula es controlado por la velocidad de alimentación y la temperatura.

Una alta relación de combustión incrementa la temperatura y reduce el tamaño de partícula. Dentro de ciertos límites, el área superficial puede ser controlado, independientemente del tamaño de partícula o de la estructura, por los cambios en las dimensiones del reactor y de la temperatura. La estructura también puede ser más dependiente de la manera cómo es inyectada la alimentación dentro del Reactor.

La estructura también puede ser disminuída con aditivos, usualmente utilizando pequeñas cantidades de metales alcalinos.

En los Estados Unidos, el proceso de peletizado húmedo es el único usado. En este proceso, un eje con protuberancia en forma de alfileres, mezcla el Negro de Humo sin cohesión con agua, la que puede contener un agente que sirva de ligazón, tal como la melaza que permite producir bolitas redondas o pelotillas. La formación y calidad de las pelotillas son fuertemente dependientes de la velocidad del eje peletizador y de las velocidades de alimentación del Negro de Humo y del agua.

El proceso de peletizado incrementa la densidad de la mayoría de Negros de Humo desde 300 a 500 Kg/m³.

Las pelotillas húmedas son alimentadas dentro de un Secador rotatorio calentado por combustión del gas remanente. El vapor generado es retirado por un extractor y puede ser reemplazado con aire. El oxígeno, entonces, puede entrar en contacto con el Negro de Humo. Esta oxidación superficial influye en las propiedades químicas del Negro de Humo y en consecuencia en las propiedades del Caucho vulcanizado.

El Negro de Humo en pelotillas es tamizado para uniformizarlo y es pasado a través de un separador magnético para remover cualquier posible contaminación metálica, luego el producto es llevado al tanque de Almacenamiento a granel para el empaque y embarque final.

Los Negro de Humo obtenidos mediante este proceso se denominan Negro de Humo reforzantes.

El Negro de Humo , en el Perú era producido en la Planta ubicada en la ciudad de Talara (Piura) y su producción abastecía el mercado interno peruano ; sin embargo desde el año 1995 ,la Planta ya no está operativa y el material es importado de Colombia ó Venezuela.

El Negro de Humo es usado principalmente en la Industria de Llantas .Una llanta contiene de 1/4 a 1/3 de Negro de Humo en las diferentes formulaciones de los Compuestos que ingresan en su construcción ; si el Negro de humo no fuese usado , la llanta duraría solamente unos 5,000 Kilómetros .

Realmente ,la interacción entre el Caucho y el Negro de Humo es de carácter físico, aunque también hay una interacción química. Se fabrican diferentes tipos de Negro de Humo, (Ver Cuadro III en Pag.Nº 112),si bien todos son semejantes y de color Negro ,al momento de ser utilizados en los compuestos se hace presente las diferencias,las cuales están relacionadas con las propiedades del Negro de Humo escogido.

b.- Propiedades del Negro de Humo

El Negro de Humo es obtenido principalmente por medio del proceso de Hornos , en general este material tiene tres propiedades básicas :

- Tamaño de partícula
- Estructura
- Area superficial

b.1.- Tamaño de partícula

El tamaño de partícula es determinado por un Microscopio Electrónico.

La distribución del tamaño de partícula tiende a ser función del tamaño de partícula,la más pequeña de ellas es 1/4 del promedio de tamaño y la más grande partícula es dos veces el promedio del tamaño, estas partículas existen como agregados, de forma variable y de diferente número de partículas.

Los átomos de Carbono están arreglados en forma de láminas imperfectas de grafito dentro del agregado, estas láminas están arregladas concéntricamente, ásperamente dentro de una partícula y parecen ser contínuos de una partícula a otra en el agregado. Comparando con el grafito, el espacio entre las láminas para el Negro de Humo es mayor y no tienen un orden tridimensional.

Un método muy simple para conocer la estructura del Negro de Humo es determinar la fuerza manchante de los mismos ó la relación de refractancia comparada con un Negro de Humo de referencia (IRB- Industry Reference Black), el cual es determinado con un medidor de Reflactancia fotoeléctrica.

Un Negro de Humo con alta estructura tiene menor fuerza de teñido para un determinado tamaño de partícula.

El tamaño de partícula del Negro de Humo afecta la resistencia a la Abrasión, la Histéresis, la generación de calor y el Rebote del compuesto de Caucho.

Comparando los Negros de Humo con tamaño de partícula grande en una misma carga, con los Negros de Humo de partícula de tamaño pequeño, éstos últimos ofrecen una mejor resistencia a la Abrasión, alta Histéresis, bajo Rebote y mayor generación de calor.

Cuando se habla del tamaño de partícula nos referimos al diámetro de partícula más frecuente dentro de cada tipo de Negro de Humo medido en milimicrones. En una llanta se utiliza preferentemente el Negro de Humo con tamaño de partícula menor en la Zona del rodado (menores de 35 nm) y en la zona de la carcasa se utiliza el Negro de Humo con tamaño de partícula mayor (mayores de 45 nm).

El costo del Negro de Humo también tiene relación con el tamaño de la partícula; es más costoso cuanto menor es el tamaño de partícula.

Las propiedades que el tamaño de partícula del Negro de Humo ofrece a los productos son : a menor tamaño de partícula el producto obtenido ofrece mayor resistencia al esfuerzo y al desgaste, pero desde el punto de vista de la producción, la temperatura durante el proceso será mayor, la cual disminuirá únicamente usando Negro de Humo con mayor tamaño de partícula.

b.2.- Estructura

El término “Estructura primaria” es frecuentemente usado para describir el grado de Interunión entre las partículas individuales en los llamados agregados. La “estructura secundaria” es la aglomeración de agregados debido a las fuerzas de Van Der Waals y es formada durante la operaciones de colección y peletizado del Negro de Humo.

Para medir la Estructura, básicamente se mide el volumen del espacio entre los agregados por unidad de peso del Negro de Humo. Uno de los métodos para medir estos espacios vacíos es llenándolo con un líquido, como en la prueba de absorción de DBP (Dibutyl Phtalato) y otro es por la medición de la compresibilidad, como en la prueba del volumen del vacío.

Esta propiedad puede ser visualizada como si las partículas de Negro de Humo estuviesen unidas a un racimo por una fuerza de cohesión. La estructura del Negro de Humo es importante ya que ella determina como se ha de comportar el Compuesto de Caucho que se procesa.

Si la estructura es mayor (200 Partículas) ,la facilidad de mezclado será rápida y fácil, permitirá mejor extrusión, proporcionará resistencia al Hinchamiento. Facilitará el uso de mayores cantidades de Aceite en la formulación y dará al Compuesto una gran retención de la forma . Sin embargo ,durante el proceso se generará gran cantidad de calor, lo cual es una desventaja, sin embargo podría ser subsanado usando Negro de Humo con Estructura menor (30 partículas).

b.3.- Area Superficial

Esta propiedad es otra característica importante, porque influye bastante en las interacciones con otras sustancias presentes en un Compuesto de Caucho.

Un procedimiento para determinar el Area superficial del Negro de Humo fue desarrollado por Brunauer, Emmett y Teller en 1938. El llamado Método BET (en honor a sus creadores) está basado en la Adsorción de un gas (frecuentemente Nitrógeno), sobre la superficie del Negro de Humo y ha llegado a ser la Técnica Standard para medir el Area superficial.

De otra forma, el Area Superficial del Negro de Humo también puede ser calculado con un equipo denominado Microfoto Electrónico, pero este método trae consigo inconvenientes tales como : consumo de mucho tiempo, alto costo del equipo , mucha habilidad de los operadores y es más bien subjetivo.

La adsorción de Iodo ó CTAB (Bromuro de Cetyl-Trimethyl Amonio), a partir de una solución, son también usados para determinar el Area Superficial del Negro de Humo.

Esta propiedad , está relacionada con la rugosidad de la superficie de las partículas del Negro de Humo (Ver Fig. Nº 3 en Pag. Nº 124). Pueden haber dos partículas del mismo tamaño pero con diferente Area Superficial .El Area Superficial no tiene ningún efecto en la fabricación de las llantas , sin embargo, en algunos casos extremos cuando el Area superficial del Negro de Humo es muy alto generan mayor desprendimiento de calor durante el proceso y la apariencia durante la extrusión será áspera. Por el contrario, un Negro de Humo con menor área superficial generará menor calor.

Otras características del Negro de Humo son : la calidad de los pellets y el contenido de impurezas en el material , el primero de éstos tiene importancia en la no producción de polvo. El Negro de Humo con calidad de peletizado pobre tiene mucho insumo en polvo al momento de procesar.

La dureza de los “pellets” también influye en la preferencia del usuario. Las impurezas, inevitablemente se presentan en el proceso de producción debido a la erosión que sufre el Material Refractario de los Hornos , así mismo, puede existir formación de coke durante la descomposición de la materia prima empleada. Estas impurezas, en pequeña cantidad, casi nunca afectan las características de las llantas y productos de Caucho.

C.- OTRAS MATERIAS PRIMAS

Otras materias primas usadas en la Industria de LLantas son agrupados de acuerdo a la función que cumplen en el Compuesto de caucho diseñado para la Llanta . Así tenemos

1.- CARGAS Y/O RELLENOS

Su función es proporcionar reforzamiento y color al Compuesto de Caucho. El principal relleno es el Negro de Humo. Otros productos conocidos son: las Arcillas (Semireforzantes), la sílica precipitada (reforzante), el Carbonato de Calcio (carga de tipo extensivo) y el Oxido de Titanio (Colorante). Estos materiales, permiten reducir los costos de fabricación usándolos en cantidades adecuadas sin perjudicar las propiedades finales del compuesto.

Existen dos tipos de Cargas : Negros de Humo y Cargas blancas.

Los Negros de Humo fueron desarrollados específicamente para uso con los Cauchos y son normalmente nombrados por el proceso de obtención : Proceso Térmico, de Hornos ó de Canal , éstos últimos ya no son producidos más porque sus características pueden ser obtenidas por el Procesos de Hornos, como ya ha sido tratado en párrafos anteriores.

Las Cargas blancas no están muy bien clasificadas como los Negros de Humo. Otros materiales son usados en los Compuestos de caucho, pero solamente aquellos con tamaños de partículas relativamente pequeños son reforzantes .

2.- AYUDAS DE PROCESO

Son agentes químicos que permiten la ruptura de las moléculas del Caucho Natural y de los Cauchos sintéticos con Viscosidad Mooney alta. Su finalidad es suavizar el Caucho al inicio del proceso , incrementar la adhesión después del mezclado y facilitar la dispersión de los ingredientes que son incorporados en la mezcla. Los productos denominados Ayuda de proceso no deben alterar el tiempo de vulcanización. El pentaclorotiofenol y el N-Ciclohexiltioftalamida (N-Cyclo hexylthiophthalimide) son usados principalmente en la Industria de las llantas.

Estos materiales, reaccionan químicamente para ayudar al rompimiento de las cadenas de los Cauchos Naturales y de los Cauchos Sintéticos de alta Viscosidad Mooney. Son utilizados en el proceso inicial de mezclado para ablandar el Caucho. La finalidad es facilitar la procesabilidad del material o incrementar la Adhesión del Compuesto en la fase de la Construcción de la llanta después de efectuada la mezcla del Compuesto.

Los Agentes peptizantes son plastificantes químicos usados en la composición del compuesto de Caucho hasta un máximo de 2 rhc , estos materiales reaccionan con los radicales libres formados cuando el Caucho está siendo mezclado ;así mismo permiten acortar la longitud de la cadena molecular disminuyendo el peso molecular, ayudan a reducir el tiempo requerido para la mezcla y a mejorar la dispersión de los ingredientes adicionados a la mezcla.

Un material actúa como Ayuda de proceso cuando puede reducir el encogimiento, mejorar la procesabilidad , romper el nervio del compuesto mezclado y también facilitar el proceso del moldeo cuando sea requerido.

Estos materiales no deben afectar los procesos de vulcanización ,esto es, no incrementar o disminuir los tiempos de Vulcanización.

Los materiales típicos son Mercaptanos, Acidos Sulfónicos solubles en aceite y Sales de Zinc de Tiofenoles.

3.- AGENTES PROTECTORES

Los compuestos de Caucho, con el paso del tiempo, se deterioran por los efectos del Oxígeno, calor, ozono, agentes oxidantes, fatiga, luz , clima e incluso por radiación atómica. Los Agentes Protectores son usados para disminuir estos efectos desagradables proporcionando un tiempo de vida razonable a un producto en particular.

Normalmente, los compuestos de Caucho Natural y de Butilo se ablandan o deterioran debido a una escisión en la cadena molecular debido a la presencia del ozono produciéndose una reducción del peso molecular .Por otro lado, la mayoría de los demás Compuestos que son mezclados con otros Elastómeros se endurecen progresivamente, usualmente debido al incremento de los enlaces cruzados.

Las dos mayores clases de agentes protectores son los llamados Antioxidantes y Antiozonantes, representados por Aminas sustituidas, Aminas Fenólicas y Fosfitos. Las Ceras que migran a la superficie de un producto de Caucho, actúan como Agentes Protectores físicos y forman una capa protectora sobre la superficie del producto ,el cual actúa como un escudo con-

tra la degradación ,estos materiales son usados en productos estáticos en los cuales poco o casi nada de flexión se produce.

Los Compuestos de Amina, conocidos como Agentes Protectores manchantes se decoloran durante su uso y no pueden ser usados en compuestos claros ,para estos casos se utilizan a los Fosfitos y Fenoles.

Pocos Agentes Protectores como los compuestos de Aminas Aromáticas sustituidas proporcionan características adicionales como el mejoramiento de la flexibilidad del producto.

4.- ACTIVADORES DE ACELERACION

La mayoría de Aceleradores usados en el proceso de Vulcanización con Azufre requieren materiales que incrementen la efectividad del Sistema de Cura,estos son los Activadores de Aceleración.

Estos materiales permiten la formación de complejos con los Aceleradores facilitando la actividad del Azufre en el Compuesto de Caucho produciendo una vulcanización más rápida y uniforme.

Los más conocidos son

- **Compuestos Inorgánicos (usados entre 2 a 5 rhc) :** Oxidos metálicos tales como Oxido de Zinc,Oxido de Magnesio,Oxido de Plomo ,Carbonatos alcalinos ó Hidroxidos. La combinación de Oxido de Zinc con Acido Esteárico es muy usada en la Industria de llantas e involucra la formación de un jabón de Zinc soluble con el Caucho del Compuesto ,el cual es más reactivo que cualquiera de los componentes por separado.
- **Acidos orgánicos de alto Peso Molecular :** tales como el Acido Esteárico,Oleico,Palmítico Láurico y los Agentes vegetales hidrogenados que son usados con Oxidos metálicos.
- **Sustancias alcalinas :** Usando materiales que aumenten el pH del sistema, se incrementará la velocidad de vulcanización.Un tipo de caucho regenerado obtenido por proceso al calino es incluido dentro de este tipo de materiales.Como contraparte se tiene al Acido Salicílico que es un material de tipo ácido que retarda la Vulcanización.

5.- AGENTES VULCANIZANTES

El Azufre es el material más conocido dentro de este grupo , el cual, junto con otros ingredientes reacciona químicamente para formar las ligaduras cruzadas que dan lugar a la Vulcanización y proporcionan al Compuesto de Caucho sus propiedades físicas finales.

Existen otros Agentes de vulcanización, los cuales son usados en función al Elastómero con el que se está trabajando. Entre ellos tenemos

Oxido de Zinc (Neopreno)

Litargirio (Hypalon)

Compuestos Epóxicos (Nitrilo)

Dioxima Quinona (Butilo)

Diaminas (Elastómeros fluorados)

Peróxidos (Elastómeros saturados-siliconas)

Los materiales involucrados actúan en la formación de los enlaces cruzados reales, los cuales dan al Compuesto de caucho vulcanizado sus propiedades físicas que son características de éstos.

El Azufre es el elemento común más usado con el Caucho Natural, Estireno Butadieno , Butadieno ,Nitrilo, Butilo y Poliisopreno. La cantidad que se usa, depende de qué sistema de Aceleración se utiliza para el compuesto y usualmente varía entre 1 a 3 rhc. En el caso de la vulcanización de un Compuesto duro se requiere hasta 40 rhc.

Cauchos especiales utilizan sistemas que implican reacciones químicas específicas para formar uniones de enlaces cruzados, los cuales son más difíciles de formar que con una vulcanización con Azufre, estos Sistemas son usados para vulcanizar Neopreno, Hypalon. El Oxido de Zinc es también usado en la vulcanización de Elastómeros como el Butadieno, Estireno Butadieno carboxilatado y Nitrilo.

6.- ACELERADORES

El Acelerador permite controlar la velocidad y el tiempo de vulcanización en un Compuesto de Caucho, para que ésta sea más rápida o más lenta . Se puede utilizar hasta dos tipos de Aceleradores. Cuando se utiliza un solo acelerador se denomina Acelerador primario y en combinaciones que involucran el uso de dos Aceleradores se denomina Acelerador Secundario a aquel material que es usado en menor cantidad. En el Cuadro IV (Ver Pag. Nº 113) se muestra la velocidad relativa de actividad de los Aceleradores y en el Cuadro V (Ver Pag. Nº 114) se muestra la Clasificación química de los Aceleradores .

En la Industria de las llantas se utilizan diferentes sistemas de Aceleración. Los más comunes llevan aceleradores del tipo Guanidinas, Tiazoles, Aminas y Sulfenamidas.

La selección de un Sistema de Aceleración en la preparación de los Compuestos de Caucho dependerá de la seguridad del Proceso, características de vulcanización y las propiedades físicas que se desean en el producto final.

Algunas combinaciones de dos o más aceleradores trabajarán con la mayoría de los compuestos de Elastómeros insaturados.

7.- ANTIOXIDANTES

La estabilidad de un artículo de caucho frente a las influencias del proceso de envejecimiento viene determinado : en primer lugar, por el elastómero que es la base de la mezcla ; en segundo lugar por el sistema reticulante y finalmente por los productos químicos que se añaden para retrasar los procesos destructivos que puede sufrir el artículo de Caucho.

Los Antioxidantes confieren al artículo acabado una protección más o menos fuerte frente a los factores que le ocasionan daño y la protección depende esencialmente de la constitución química del aditivo.

En realidad, no hay un Antioxidante de empleo universal. Cada producto de este grupo posee un determinado "espectro de acción" es decir, un diverso efecto protector frente a las mencionadas influencias, así como un determinado comportamiento de alteración cromática (decolora -

ción) bajo la acción de la luz

De todas formas, puede afirmarse que los productos que coinciden con el color de los materiales vulcanizados son más eficaces que los que no lo hacen .

La mayoría de los Antioxidantes son derivados de Aminas aromáticas o de Fenoles. Las Aminas pertenecen , en su mayor parte, al grupo de productos que alteran el color de los artículos, y los Fenoles al de productos que no lo alteran.

Envejecimiento : Con el término de envejecimiento se conoce al conjunto de alteraciones que sufren las propiedades físicas de un Compuesto de Caucho con el paso del tiempo . No son debidas al desgaste dinámico o a la acción de productos químicos sino debido a agentes externos que pueden conducir a la destrucción parcial o total del artículo.

El caucho se halla singularmente expuesto a este tipo de transformaciones. Además de procesos de degradación química ,se observan fenómenos de endurecimiento, reblandecimiento y fatiga, así como formación de varios tipos de grietas.

Los grupos insaturados del caucho, debido a su reactividad con el Azufre, permiten por una parte ,la vulcanización ,pero por otra son causa de una sensibilización frente al oxígeno, al ozono y a otras sustancias reactivas; cuanto más elevada es la temperatura ,tanto más intensamente se manifiestan estas influencias. En presencia de catalizadores de la oxidación (venenos del Caucho),los citados fenómenos de envejecimiento tienen lugar con especial rapidez.

El Caucho sintético también puede sufrir fenómenos de endurecimiento si progresa excesivamente la polimerización o se produce una reticulación intramolecular.

Este gran número de posibles deterioros nos indica que no existen un “envejecimiento” propiamente dicho, único , sino toda una serie de procesos “envejecedores” ,que pueden ser provocados por

- 1.- El oxígeno , a diversas temperaturas (envejecimiento en su sentido estricto).
- 2.- El oxígeno en unión de ciertos compuestos de metales pesados (venenos del Caucho).
- 3.- Esfuerzos dinámicos (fatiga).

4.- Ozono .

5.- Luz y radiaciones energéticas, junto con el oxígeno.

6.- Otras influencias (ejemplo : Vapor).

Los deterioros mencionados bajo 1 y 2 afectan a la totalidad del volumen del artículo de caucho, mientras que los efectos 3-5 son meros fenómenos superficiales (agrietamiento).

8.- SUAVIZANTES (Plastificantes físicos)

Los plastificantes físicos pueden ser usados en poca cantidad (2 a 10 rhc) para mejorar la procesabilidad o el manipuleo del compuesto de Caucho y en cantidades mayores para modificar las propiedades físicas del producto final. Para los Compuestos de las llantas se utilizan aceites altamente aromáticos y nafténicos. Los aceites nafténicos son Aceites no-manchantes, los aromáticos son manchantes. Se cuenta también con los Ácidos grasos, Aceites vegetales, derivados de petróleo y productos del árbol de pino que son usados para modificar al compuesto de Caucho obteniéndose mayor Elongación ,Módulus bajo y menor Dureza.

Los plastificantes físicos son importantes porque permiten efectuar un buen proceso de mezclado, mejorar la incorporación de los ingredientes usados y realizar estas operaciones en menor tiempo.

Hay tres tipos principales de Aceite de proceso : Aromático,Nafténico y Parafínico. Cada uno de ellos están conformados primeramente de estructuras de Anillos. La molécula de aceite típica contiene Anillos insaturados ,anillos saturados (Naftenos) y cadenas con lados saturados (parafínicos).

En un Aceite aromático hay una preponderancia de estructura de anillos aromáticos. En un Aceite de proceso del tipo Nafténico, las estructuras de anillos predominantes son los Anillos saturados que no contienen enlaces dobles . En Aceites tipo parafínicos la estructura de anillos predominante es otra vez los anillos saturados nafténicos pero, en el Aceite parafínico hay un número menor de anillos por molécula y un número más grande de hidrocarburos saturados en los lados adjuntos a las estructuras que, aquellos que se encontraron en el Aceite tipo Nafténico.

El término parafínico aquí es inapropiado cuando se aplicó a un aceite refinado desde que las únicas parafinas como tales en un aceite, son ceras.

Este es el caso de un Aceite de Proceso para Cauchos tipo parafínicos. La fracción del destilado del Aceite parafínico recibe un proceso adicional para retirar la cera. Este proceso es uno de los más caros en las técnicas del procesamiento usado en el refinamiento de petróleo y es particularmente responsable por el alto precio de los aceites parafínicos con relación a los otros tipos. Afortunadamente, el valor de la cera retirada de estos aceites ayudan a balancear el costo del retiro de la cera. De este modo, el costo total de retiro de cera no está reflejado en el costo de los Aceites parafínicos.

Aceites de proceso del tipo nafténico son producidos por destilación de un crudo seleccionado para el balance deseado de estructura de anillos aromáticos. El proceso de la destilación para separar el aceite crudo en varios rangos de ebullición y grados de viscosidad, reduce la cantidad de asfálticos presentes en los Aceites nafténicos. Obviamente, un Aceite nafténico que contiene estructuras cíclicas aromáticas contendrá algunas moléculas heterocíclicas o compuestos polares.

Los pasos de refinamiento que hemos descrito presentan una visión elemental de la manufactura del Aceite de proceso para Compuesto de caucho. Dependiendo de la fuente específica del crudo adicional, puede ser necesario tener pasos adicionales de refinamiento para producir Aceites de proceso con las propiedades deseadas.

Las presiones competitivas en la industria del Caucho y el desarrollo de polímeros con altos pesos moleculares abrieron las puertas para el uso de Aceites de petróleo más baratos como plastificantes.

Esta proximidad a la composición de cauchos ocurrió cerca del año 1951. Se encontró que la distribución del Peso Molecular podía ser aumentado y las propiedades mecánicas mejoradas. Aunque este cambio de peso fue a expensas de la procesabilidad, se encontró que grandes cantidades de aceite podría ser adicionado a estos Cauchos sin pérdida de la calidad del producto cuando es comparado con los polímeros de bajo peso molecular.

Composición del Aceite ..- Es imposible definir la composición exacta de cualquier aceite. De hecho, únicamente unas pocas moléculas en la fracción de aceite del petróleo han sido aisladas e identificadas a pesar de que mucho esfuerzo ha sido realizado a lo largo de esta línea por el Instituto de Petróleo Americano, entre otros.

De todos modos, es posible hacer postulaciones acerca de la composición de los aceites a partir de correlaciones obtenidas basadas en las propiedades físicas de compuestos puros, de alto peso molecular.

Acción plastificante de los aceites..- Para obtener el beneficio completo del Aceite como plastificante en el procesamiento, el requisito primario del plastificante es que sea compatible con el caucho. La compatibilidad y la acción plastificante puede ser tratada a partir de los aspectos composicionales discutidos arriba. El más antiguo de estos medios, es el propuesto por Hildebrand y conocido como el "parámetro de solubilidad" ya que el aceite tiende a atraer estructuras cíclicas cercanamente juntas ya sea saturadas o aromáticas. No es muy usual predecir la habilidad de varias clases de Aceites de hidrocarburos para plastificar un Caucho particular. Es bueno enfatizar en este punto, que los Aceites de petróleo son muy complejos en su naturaleza. Esta complejidad ha causado que la Industria de Petróleo y Caucho relacionen el poder del solvente y/o compatibilidad de un aceite con alguna clase de escala aromática. Tales escalas incluyen el Punto de Anilina, el cual de acuerdo al Método ASTM D-611, determina la temperatura a la cual la Anilina y un Aceite llegan a ser miscibles; la constante Viscosidad-Gravedad y el Intercepto de refractividad son otras constantes que pueden ser determinadas y la relación entre las curvas demuestran que dichas constantes dan una medida del poder de solvente para un aceite, teniendo en cuenta las consideraciones teóricas.

El concepto de que una función simple proveerá una única escala del poder de solvente es realmente una sobresimplificación. Se cree que, para los polímeros de baja polaridad es poco lo que puede ser ganado al tratar de usar un acercamiento teórico para la selección de un Aceite de proceso. Valores tales como el "parámetro de Solubilidad" han encontrado utilidad con polímeros altamente polares como Nitrocelulosa y Cloruro de polivinilo. En general, tales acerca-

mientos teóricos se incrementan en valor conforme aumenta la polaridad del polímero.

9.- ALAMBRE DE PESTAÑA

Esta materia prima es un Alambre de acero con una sección transversal menor de 1 mm. Está cubierto con una fina capa de bronce, la cual le da una apariencia brillante. Posee una alta resistencia a la ruptura, buena adhesión al Compuesto de caucho y moderada elongación.

Los fabricantes de alambre son, entre otros Perú, Japón, Colombia, Brasil y Venezuela. Son comercializados en rollos de 450 Kilos (Peso neto aprox.), debidamente protegidos contra la humedad, ya que de estar expuestos al ambiente se oxidarían rápidamente, volviéndose inservibles.

En las llantas, el Alambre es usado para formar los componentes llamados "Pestañas". Dependiendo del tipo de llanta, se usa una cantidad determinada de alambres enrollados en forma continua formando una circunferencia siendo recubiertos por una capa de Compuesto de caucho con dureza muy alta. Estas "pestañas" servirán para fijar la llanta al aro del automóvil cuando se infle a una determinada presión interna. En el Cuadro VI (Pag. Nº 115) se muestra las características del Alambre de pestaña que pueden ser determinados en el Tensiómetro Instron (Ver Fig. Nº 21 en Pag. 135).

10.- TELAS

Son fibras de Nylon, Poliéster o Rayón; conformadas por la unión de una gran cantidad de filamentos continuos debidamente entrelazados formando los cordones. Estos cordones están colocados uno al lado de otro en forma paralela, manteniéndose unidos por un hilo muy delgado tejido transversalmente y separados cierta distancia, finalmente son enrollados en forma continua sobre un eje de madera.

Las telas se comercializan en rollos que pesan aproximadamente 670 - 860 Kg. Están muy bien protegidos contra la humedad. Cuentan con cubiertas especiales, tratando de que la envoltura sea lo más hermética posible, inclusive llevan adheridos en su interior bolsas de Sílica

gel. Durante su fabricación, los cordones son bañados con una solución preparada a base de resinas obteniéndose una capa adherente que facilita la Adhesión de los cordones a un Compuesto de caucho. En la Industria de las llantas, la tela es cubierta por ambos lados con una capa del Compuesto de caucho, el cual es formulado especialmente para tal fin . Estos componentes obtenidos formarán parte de la Estructura principal de la llanta.

Como toda materia prima, las Telas deben reunir ciertas características, entre las que podemos mencionar : el tipo de construcción, número de hebras ,peso por área, número de hilos por longitud .Entre las propiedades físicas podemos mencionar: resistencia a la ruptura, contenido de humedad, elongación ,adhesión de los cordones de la tela al compuesto de Caucho y otros. Algunas de estas características pueden observarse en el Cuadro VII (Ver Pag.Nº 116).

Las telas usadas en la Industria de las llantas son adquiridas de Europa, Estados Unidos Unidos, Korea y algunos países sudamericanos. No existe producción de telas para llantas en el Perú.

IV.- PROCESO DE FABRICACION

La manufactura de las llantas requiere de varios componentes que son elaborados por medio de operaciones independientes, en diferentes equipos . Cada componente es elaborado bajo las condiciones de operación óptima a fin de que el producto cumpla con las Especificaciones Técnicas correspondientes a cada tipo de llanta.

Los componentes principales son conocidos con los siguientes nombres : Rodados o bandas de Rodamiento, Tratamientos ó pliegos ,Bandas, Costados y Pestañas entre otros. Cada uno de estos componentes son enviados a la denominada zona de construcción , donde el operador procede a construir la Llanta en máquinas diseñadas para tal fin.

En la zona de vulcanización las Llantas construídas son introducidos en las Prensas donde bajo condiciones prefijadas de tiempo, temperatura y presión se lleva a cabo el proceso de la vulcanización, permitiendo obtener el producto final.

A.- OPERACIONES

1.- MEZCLADO

Esta operación consiste en mezclar en el interior de un equipo llamado BANBURY las materias primas (Caucho, Negro de Humo, Ayudas de proceso ,Acelerantes y Agentes vulcanizantes) de acuerdo a la composición y proporción especificada para cada Compuesto de caucho que se requiere. El Banbury es un equipo que consta principalmente de una caja con un volumen de aproximadamente 180 lt. ,en cuyo interior se encuentran unas paletas de diseño especial, las que por medio de potentes motores giran en sentido opuesto , uno respecto al otro , obligando a que las materias primas se mezclen debido a la presión que se ejerce entre el Caucho y demás materiales contra las paletas y la pared de la caja,durante la mezcla se genera calor por la fricción producida ,el cual es disipado por el paso de agua fría a travez de una chaqueta externa .

La operación de mezclado se lleva a cabo en forma discontinua, es decir por batches. Los parámetros que controlan la mezcla son principalmente: la temperatura alcanzada en el interior de la caja del Banbury y el tiempo de mezcla transcurrido.

La mezcla en el Banbury no es total y la dispersión de los materiales en el batch es completada cuando la mezcla es laminada en un molino de Rodillos. Después de uniformizado, el batch es retirado en forma de banda continua con un calibre entre 5 - 8 mm.Es introducido en una solución antiadherente y transportado hacia una zona donde se secan los paños por medio de ventiladores y luego éstos son apilados sobre plataformas metálicas (Ver Fig. Nº.5 -Pag Nº 125).

Cada batch es identificado debidamente y cada uno de ellos es controlado en sus características principales en el Laboratorio Analítico.

La operación de mezclado se lleva a cabo para producir todo compuesto de caucho que será usado en las operaciones posteriores de calandreo y extrusión.

2.- CALANDREO

Esta operación se lleva a cabo para obtener los componentes denominados "Tratamien-

tos” ó pliegos que forman parte de la Carcasa en una llanta ,estos Tratamientos tienen características diferentes, dependiendo del tipo de Tela, compuesto de Caucho y calibre final que son usados para su fabricación. La variedad de Tratamientos se debe a los requerimientos de la llanta.

El equipo que se usa para esta operación consta principalmente de los siguientes sectores :

Festoon.- Es el sector donde se coloca el rollo de tela y se le acondiciona para ingresar al flexibilizador .La tela es guiada a travez de una serie de rodillos que van estirándola conforme es alimentada. Luego, pasa por un juego de rodillos grandes calentados internamente con vapor a fin de poder extraer la humedad que pueda haber adquirido la tela.Seguidamente es acomodada para ingresar al Tren de Calandria.

Tren de Calandria.- Este sector consta de dos grupos de tres rodillos colocados verticalmente y distanciados 5 metros un grupo de otro ; en cada caso, los rodillos giran en un sentido tal que el paso de la Tela es en forma continua. El Compuesto de Caucho es precalentado en unos molinos de Rodillos grandes hasta que esté plastificado, luego es cortado en tiras y llevado por una faja transportadora hacia el Tren de Calandria .Cuando la Tela pasa por el primer grupo de rodillos ,una primera capa delgada del compuesto especificado es aplicado sobre la Tela.

En el siguiente grupo de rodillos, la tela, con la primera capa de goma pasa entre los rodillos y en ese momento se aplica la segunda capa de goma en la superficie de tela libre de goma (Ver Figura Nº 6 - Pag.Nº 126). De esta manera ,se obtiene la tela recubierta con el compuesto de Caucho por ambos lados denominándosele “ tratamientos” o pliegos.

El Tratamiento es identificado y luego enrollado sobre un material protector adecuado que evitará la pérdida de la adhesión en verde.

El calibre es muy importante en esta operación por lo que es controlado en varias ocasiones durante la corrida .Finalmente, los rollos conteniendo los tratamientos son debidamente acondicionados en soportes metálicos para ser llevado a la zona de Construcción de bandas.

3.- EXTRUSION

Esta operación es llevada a cabo en el equipo denominado Entubadora. El compuesto, previamente calentado en los molinos de rodillos, es cortado en forma de una franja, la cual por medio de fajas transportadoras es llevado a la caja del tornillo sin fin. El compuesto es forzado a pasar a través de una matriz, que es una pieza metálica con un perfil diseñado especialmente para obtener los componentes entubados para la llanta.

El componente obtenido es transportado sobre una faja móvil donde es identificado por medio de un pequeño rodillo marcador; atraviesa por los sectores de aplicación de adhesivos, el tanque de enfriamiento, la zona de secado (efectuado por medio de focos encendidos) y por la zona de corte para obtener la longitud especificada. Finalmente es almacenado dentro de estructuras metálicas que tienen niveles cubiertos apropiadamente y listos para ser enviados a la zona de Construcción de Llantas.

Los parámetros importantes que se controlan en esta operación son: el Peso lineal del componente que se está entubando y el perfil de la Sección transversal. Todas las operaciones secundarias en la extrusión están especificados en los Métodos de trabajo correspondiente.

4.- CORTE DE PLIEGOS

Esta operación es efectuado en los equipos denominados Spadone (Ver Fig. Nº 8 en Pag. Nº 127) y Banner, donde los rollos de tratamientos obtenidos en la Calandria son cortados de acuerdo a los parámetros especificados. Los pliegos son cortados con diferentes dimensiones de ancho y ángulos, estos trozos son unidos formando una banda continua, que es enrollado sobre una tela que protege al tratamiento para que no pierda la Adhesión en verde. Los cortes de pliegos son identificados debidamente y pasan a ser usados en la zona de construcción de Llantas.

5.- CONSTRUCCION DE PESTAÑAS

A partir de varios rollos de Alambre de acero (Ver Fig. Nº 7 -Pag. Nº 126), los componentes denominados pestañas "Bead" (en inglés) son construídos haciendo pasar el Alambre de

alta tensión a través de una matriz. Se extruye al mismo tiempo el Compuesto de Caucho que posee dureza muy alta y el alambre. Posteriormente, varias capas del alambre recubiertas con el compuesto son enrolladas formando una circunferencia con diámetro especificado, las capas son aseguradas con una tela adhesiva. La pestaña es debidamente identificada y almacenada para luego pasar a la zona de construcción de los Llantas.

Es importante efectuar el control de la Adhesión del alambre al Compuesto para evitar desprendimientos del Alambre de la Llanta durante el servicio.

Tanto los rollos de alambre y el compuesto de pestaña son acondicionados adecuadamente para llevar a cabo este proceso.

6.- CONSTRUCCION de LLANTAS

Todos los componentes con las características y dimensiones requeridas para cada tipo de Llanta son llevados a las máquinas de Construcción, en los cuales son ensamblados por las hábiles manos del operario constructor para formar una unidad (Ver Figura Nº 9 en la Pag. Nº 127).

El operador puede hacer girar el Tambor de Contrucción a voluntad, en intervalos de tiempo o en forma continua según lo requiera y en ella va colocando las partes requeridas de acuerdo a la Especificación.

En la zona de Construcción es posible unir los Compuestos de caucho, porque en esta etapa, tienen una adherencia tal, que les permite unirse fácilmente sin necesidad de cubrirlos con algún tipo de Adhesivos.

Sobre el Tambor de Construcción, se superpone las bandas y pliegos en cantidad necesaria para formar la carcasa de la llanta. En las llantas de tipo radial, los pliegos son superpuestos formando un determinado ángulo sobre un material denominado "Bladder", el cual es un cuerpo flexible, que en un momento dado se expande para darle al neumático la forma radial.

Luego, el número especificado de aros de pestañas, son adheridos a cada lado del armazón y asegurados doblando los extremos de las bandas y pliegos.

El rodado o banda de rodamiento es colocado al centro del armazón envolviendo toda la llanta y es unido por sus extremos en cuyas superficies tienen un material adhesivo.

En el caso de las llantas de Camión y llantas radiales se colocan a cada lado los componentes llamados “costados”, cubriendo parte del rodado.

En cada etapa de esta operación ,la máquina de Construcción realiza el planchado desde el centro de la Llanta hacia los extremos mientras el tambor va girando,mediante un sistema neumático. La finalidad de esta operación es fijar los componentes en su lugar y expulsar las posibles bolsas de aire formadas durante la colocación de los mismos.

Finalmente el tambor de la máquina de construcción es colapsado y la llanta en verde es retirada para ser identificada con el Código correspondiente.Luego es llevada a la zona de Pintado donde mediante el uso del equipo de pintado automático se le cubre externa e internamente con soluciones antiadherentes (Ver Figura Nº 10 en Pag.Nº 128),esto es con la finalidad de evitar que la llanta no se adhiera a los Moldes en la zona de vulcanización .

Se dice que la habilidad del constructor es muy importante para conseguir una buena calidad del producto final.

El tiempo que les toma construir un neumático es de 10 a 15 minutos.

7.- VULCANIZACION

En este proceso tan importante ,la llanta en verde cambia sus propiedades plásticas y las transforma en propiedades elásticas por medio del calor y presión proporcionado por las Prensas de vulcanización y principalmente por la presencia del azufre,el cual ha sido adicionado a los compuestos en el Banbury y que ha de reaccionar químicamente con el Caucho. El principio de la vulcanización fue descubierto por Charles Goodyear en 1839,permitiendo la fabricación de las Llantas y de los diferentes artículos de Compuesto de caucho que conocemos actualmente.

Los equipos usados son las Prensas de Vulcanización ,las cuales constan de dos Secciones unidas de tal forma que puedan abrirse como la tapa de un reloj de bolsillo.

En el interior de cada sección se ubican los moldes, estas piezas metálicas permiten obte-

ner el diseño final en el rodado y costado de la llanta después de la vulcanización. La información adicional requerida por el usuario acerca de la llanta se consigna a los lados de la misma.

En el centro de la tapa inferior de la Prensa se ubica un "Bladder", el cual es un diafragma elaborado de un compuesto resistente y flexible. Alrededor del Bladder se coloca la llanta sin vulcanizar (Ver Figura Nº 11 en Pag. Nº128) mediante unos cargadores neumáticos y mientras la sección superior desciende para cerrar la prensa, el Bladder es inflado con vapor expandiéndolo y empujando a la llanta sin vulcanizar contra el diseño dentro del molde para darle la forma conocida.

Después de permanecer dentro de la prensa aproximadamente 20 minutos, el Bladder es contraído y la llanta es retirada de la Prensa. Luego la llanta es colocada en un aro especial donde es inflado con aire a una presión interna determinada. Se le permite enfriar por un tiempo aproximado de 30 minutos, permitiendo que la llanta tome su tamaño y forma final.

Luego, las llantas vulcanizadas son retiradas de los anillos y colocadas en una faja transportadora a través de la cual son llevados a la zona de Inspección (Ver Figura Nº 12 en Pag. Nº 129), en esta zona se revisa la apariencia del producto y se retira todo exceso de goma y aquella llanta que esté en condiciones óptimas pasa luego a ser almacenado.

V.- TIPOS DE LLANTAS

Las llantas se fabrican en varias medidas y modelos (Ver Fig. Nº 13 - Pag. Nº129) para satisfacer la necesidad de todos los vehículos del parque automotor y adecuarse a las características del terreno por donde transitan.

Los diseños de la banda de rodamiento son tales que cada vez van permitiendo mejorar su resistencia y rendimiento de las llantas en el servicio.

Localmente, los tipos de neumáticos que se usan en mayor cantidad son

Llantas de pasajeros convencional

Llantas de pasajeros radial

Llantas de camioneta

Llantas de camión convencional

Y en menor cantidad

Llantas para tractores y los llamados Mueve tierra.

1.- LLANTAS DE PASAJERO CONVENCIONAL

Su nombre es debido al ángulo de las cuerdas de tela en la carcasa. El ángulo usualmente varía de 34 a 35 grados con respecto a la línea central del Rodado. Su principal función es proporcionar confort y un buen comportamiento del rodado durante el uso.

El más pequeño de las Llantas en este tipo corresponde al aro 13 y el más grande corresponde al aro 15.

Los tamaños o medidas más populares son

6.50-13 ,B78-13 y 5.60-15

Las dos primeras medidas son usados por autos Toyota, mientras que el último es usado por los autos Volkswagen. De un tiempo a esta parte , una variedad de marcas de autos han ingresado a nuestro país las que han incrementado la demanda de nuevos diseños y modelos de Llantas que poco a poco están siendo cubierto por las Plantas productoras de Llantas.

En los sistemas internacionalmente aceptadas, la nomenclatura usada para designar las medidas de las llantas tienen el significado siguiente

6.50-13 : significa que cuando la llanta es inflada a la presión de trabajo , el ancho de la sección transversal mide 6.50 pulgadas y los dígitos 13 significan que el diámetro interno de la llanta mide 13 pulgadas .

B78-13 : corresponde al sistema alfanumérico, en esta nomenclatura B es similar a 6.50 pulgadas de ancho de sección, mientras que 78 indica que cuando el neumático es inflado a la presión de trabajo ,la altura de la sección transversal es el 78% del ancho de la sección y el número 13 es el diámetro interno de la llanta.

2.- LLANTA DE PASAJERO RADIAL

El nombre de este tipo de llanta es debido a la característica que presenta la dirección de las cuerdas .Aproximadamente la dirección de las cuerdas forman un ángulo de 90° con respecto a la línea central del rodado.

Este tipo de llanta usa un absorbedor bajo el rodado para reforzar el buen comportamiento de la llanta durante el uso,ayudando que la deformación no sea excesiva durante el servicio en comparación con las llantas convencionales.

La medida más pequeña en este tipo de llanta es de aro 13 y la más grande es de aro 15.

La medida más común ,localmente producida, era la denominada 185/70 SR-13

La nomenclatura mencionada puede ser interpretada así

185 : dimensión en milímetros del ancho de sección

70 : indica que la altura de la Sección transversal es el 70 % del ancho de la Sección.

S : indica la categoría de la Velocidad

R : quiere decir radial

13 : es el diámetro interno de la Llanta que corresponde al aro de 13 pulg.

En la Fig.Nº 16 de la Pag.Nº 132 ,se puede observar un Corte transversal de una llanta de Auto.

3.- LLANTA DE CAMIONETA

Estas llantas son mayormente usados por microbuses y autos pick-up

Las medidas más populares son 6.00-14 y 7.50-16

La explicación de la nomenclatura usada es similar a la que se mencionó anteriormente.

En la medida 7.50-16 existen dos diseños que se fabrican ,a saber “rib” y “cross rib”, ambos están relacionados con el diseño en el rodado.

En el diseño “Rib”, los canales existentes en la banda de rodamiento corren paralelos con respecto a la línea central del rodado.

En el diseño “Cross Rib” , se tienen segmentos acanalados que forman ángulos con respecto a la línea central del rodado.

Cada fabricante le dá un nombre especial a sus diseños aún cuando las llantas sean semejantes.

4.- LLANTAS DE CAMION

Las medidas existentes dentro de este grupo son las siguientes:

9.00-20/ 10.00-20 / 11.00-20 / 12.00-20

Estas medidas son producidas en los diseños “rib” y “crossrib”

La explicación de la nomenclatura y el diseño ya fueron señalados anteriormente.

La cantidad de pliegos reales y equivalentes varían de acuerdo a la medida de la Llanta .Los pliegos equivalentes son el número de pliegos que aparentan tener, usándose un número de pliegos reales en menor cantidad.

La medida más popular en Camión es 12.00-20 (8PA/6PR) que es igual a 8 pliegos aparentes y 6 pliegos reales.

En las medidas de camión las Llantas con diseño “Rib” son usados en el eje frontal , mientras que las Llantas con diseño “Cross Rib” son usados en el eje posterior.

En la Fig. Nº 14 y 17 (Pag.Nº 130 y Pag.Nº 133) se puede observar un corte transversal de una llanta de Camión.

VI.- COMPONENTES DE UNA LLANTA

En la Industria de las Llantas es muy importante conocer cada una de las partes que constituyen los componentes de una Llanta con el fin de poder efectuar los diseños adecuados que van a ser usados en nuestras carreteras. A los técnicos de la industria de Caucho les corresponde tener el conocimiento necesario sobre el particular.

En la sección transversal de una llanta (Ver Fig.Nº 15 en Pag.Nº 131) ,podemos apreciar las partes principales de una Llanta e identificarlas.

- Rodado -Costado - Antifricción
- Carcasa - Pestañas - Absorbedores

A continuación se describen las diferentes partes de la llanta :

1.- RODADO

Esta parte es la más importante en la llanta porque es en esta zona donde se concentra el mayor porcentaje del Compuesto de Caucho y es la que estará en contacto con el pavimento.

Está constituido por una formulación a base de Caucho del tipo SBR/NR en proporciones adecuadas que depende del uso que se ha de dar al Rodado, vale decir si ha de ser usado en Auto, Camioneta o Camión porque cada vehículo tiene sus requerimientos..

Para las llantas del tipo RIB, un rodado de una sola capa es usado . Para llantas del tipo “Cross Rib”,un rodado de 2 capas (Base/Rodado) es usado.

El Rodado único, como su nombre lo indica, está formado por un solo compuesto.

Para el rodado de Capa/base, dos compuestos diferentes son usados ,siendo el Rodado de base un compuesto frío extruído, llamado así porque inhibe la generación de calor , hecho que puede causar una separación de pliegos;por otro lado el compuesto de Capa ha sido desarrollado para soportar las condiciones requeridas durante el uso de la llanta.

2- CARCASA

La Carcasa es la zona de la Llanta que soporta mayormente la carga del vehículo, está constituido por hilos recubiertos con compuesto de Caucho denominado Tratamientos, colocados en forma especial, dependiendo del diseño de la Llanta (Radial o convencional).

En una construcción Radial los hilos se extienden de pestaña a pestaña, formando un ángulo recto (aproximadamente 90º) en relación a la línea central del Rodado.

En una construcción Convencional ,los hilos se extienden desde la pestaña en sentido

diagonal formando un ángulo de aproximadamente 34 a 38° en relación a la línea central del Rodado. Los tratamientos se cruzan en ángulos opuestos.

3.- PLIEGOS DE CARCASA

Está formado por diferentes capas de tratamientos de Telas. El uso del número de pliegos y el tipo de Tela está relacionado con la capacidad de resistencia de la llanta. En una llanta de Camión, los pliegos son ensamblados en la máquina de Construcción de Bandas.

Usualmente una llanta contiene tres bandas y cada Banda contiene dos o tres pliegos. La primera banda es conocida como pliego vuelta arriba y la tercera banda, el cual contiene dos pliegos es conocida como vuelta abajo.

4.- COSTADO

El compuesto usado para la zona de Costado ha sido diseñado para soportar las cargas que causan flexibilidad en la llanta durante el servicio así como protegerlo contra el Oxígeno y Ozono del ambiente. Como su nombre lo indica, está localizado en ambos lados de la llanta.

5.- PESTAÑA

Las “pestañas” permiten asegurar la llanta al aro de la rueda. Está constituido por muchos alambres de alta tensión unidos en la Máquina de Pestañas. La superficie de los alambres están recubiertos con una capa de Bronce (aleación de Cobre y Estaño) para incrementar la adhesión entre la Goma de pestaña y el Acero del alambre.

Estos alambres están cubiertos con una tela de tejido entrecruzado recubiertos a su vez con un adhesivo que permite mantener los alambres unidos.

6.- ANTIFRICCION

La antifricción está formada por un tratamiento de tela cuadrada, la cual está en contacto

con el Aro metálico. La función es proteger los pliegos en el área de Alambre contra el uso del aro metálico en servicio.

7.- CUBREPESTAÑAS

Está formado por tratamientos de tela y su finalidad es proporcionar mayor rigidez al área del Alambre, es colocado alrededor de la pestaña, después que se le ha aplicado la denominada Tira Apex, la cual es una tira de goma que va alrededor de la pestaña cubriéndola.

8.- ABSORBEDORES

Los absorbedores son localizados entre el Rodado y la Carcasa .

Usualmente ,una llanta de Camión tiene dos absorbedores localizados en la parte superior de la carcasa e igualmente espaciado con respecto al rodado.

El absorbedor es usado para inhibir la deformación del rodado en el servicio, lo cual permite extender la vida del Rodado.

VII. DESCRIPCION DE EQUIPOS DEL LABORATORIO

1.- AUTOCLAVE

La autoclave es un equipo constituido por un cilindro de doble chaqueta la cual es calentada por medio de vapor.

La forma del calentamiento y el control de la temperatura es efectuada de la misma forma que en las prensas del laboratorio que serán mencionados más adelante

El equipo con el cual se cuenta a la fecha, está equipado con medidores de presión y temperatura tanto para la cámara como para la chaqueta, siendo registrados en charts circulares los valores de temperatura versus el tiempo.

El cilindro es abierto por el frente y tiene una puerta metálica de acero que tiene colocado un sello de asbesto en la puerta para evitar fugas de vapor y lograr un cierre hermético.

La autoclave es cerrada por medio de unos pernos grandes adheridos al cilindro, los cuales ingresan en unas ranuras ubicadas en el borde de la puerta y son aseguradas por medio de tuercas. Tiene incorporado una tubería que ingresa a la cámara a fin de permitir el ingreso de aire, vapor ó cualquier gas a una presión razonable de trabajo.

Un esquema del equipo es mostrado en la Figura Nro.18 de la Pag.134; como podrá apreciarse, el equipo permite vulcanizar y ocasionar el envejecimiento del compuesto de caucho a nivel de Laboratorio.

2.- MOLINO DE LABORATORIO

El equipo indicado es usado principalmente para efectuar las mezclas de las formulaciones de los Compuestos de caucho. En algunos casos es posible obtener calibres muy finos, a fin de poder refinarse ciertos compuestos de Caucho.

Consta de dos rodillos de 6.0" x 12" con superficie lisa que giran en sentido opuesto uno respecto al otro con dirección al punto de contacto de ambos rodillos; se denominan: rodillo frontal y rodillo posterior, la velocidad de giro de cada uno es diferente, manteniéndose una relación de 1:4 entre el rodillo frontal (lento) y posterior (rápido) .Ambos rodillos pueden ser separados

para dejar una luz entre ambos. Al pasar el compuesto de Caucho entre la abertura de los rodillos permite obtener láminas con los calibres deseados (Ver Fig.Nº 19 en Pag.Nº 134).

En los extremos de los Rodillos se tienen ubicados unas guías fijas, las cuales permiten que la goma laminada forme una masa muy pareja en el centro de los rodillos; también evitan que se pierda parte de la masa mezclada al fluir por los costados. Los rodillos del molino pueden ser calentados por medio de vapor y la temperatura de los mismos puede ser regulado por el paso de agua fría a través del interior de dichos rodillos. Las conexiones son tales que permiten el ingreso de agua fría y vapor simultáneamente. Regulando el flujo de ambos ingresos se puede obtener la temperatura deseada en la superficie de los rodillos. Las tuberías de enfriamiento están perforadas de tal manera que el agua sea esparcido como spray al interior de los rodillos.

El control de la temperatura en este tipo de molino se efectúa en la tubería de salida de la mezcla vapor-agua, por medio de un termómetro en el rango adecuado. En el caso del control de temperatura de los Rodillos, éste es efectuado con un termómetro de lectura digital a través de un sensor de tipo cinta que toma la forma curvada del rodillo y cuando se presiona sobre él proporciona la lectura de la temperatura en la superficie del rodillo.

3.- PRENSA HIDRAULICA

La Prensa Hidráulica que se menciona en esta parte es utilizada para vulcanizar muestras de compuestos de Caucho en diversos moldes metálicos, bajo condiciones de presión y temperatura pre-fijada los cuales permiten obtener muestras moldeadas vulcanizadas tal como bloques, láminas con calibre pequeño, bladders, o rings y otras muestras necesarias para efectuar diferentes pruebas físicas en el Laboratorio Analítico.

Las prensas pueden ser calentadas por medio de vapor o electricidad para obtener un amplio rango de temperaturas de vulcanización (121°C - 176 °C) cuando los platos son cerrados, el pistón ejerce presiones de 1000 psi. Los platos tienen dimensiones de 24" x 24" y son de Acero (Ver Fig.Nº 21 en Pag.Nº 135).

La tubería principal de vapor hacia la prensa está conectada a una trampa en un punto

bajo para asegurar siempre el ingreso de vapor seco. Los platos son conectados en serie para asegurar una temperatura uniforme a travez de la prensa. El vapor se traslada a travez de conexiones metálicas flexibles de plato a plato.

En un panel se encuentran instalados los Termómetros de dial que indican la temperatura de cada plato y a su vez están conectados al controlador-registrador de temperatura del equipo . Del mismo modo se cuenta con un controlador de tiempo automático,permitiendo fijar el tiempo deseado de vulcanización de las muestras; transcurrido el mismo,los platos son abiertos automáticamente y una vez que estén completamente abiertos la alarma suena indicando el fin del ciclo de vulcanización. En el panel se encuentra un dial que indica la presión total del pistón en toneladas que se ejerce sobre los platos.

La temperatura de vulcanización especificada es prefijada en el Controlador-registrador y es chequeado con los termómetros conectados a los platos,siendo ajustado con el Regulador hasta que la temperatura sea la correcta. La temperatura es registrada en un chart circular conforme transcurre el tiempo.

Normalmente, la temperatura de la prensa se mantiene fija , pero hay ocasiones que es necesario cambiarla,entonces se fija la nueva temperatura con el regulador y el equipo la va ajustando hasta alcanzarla. Debe permitirse por lo menos 30 minutos para conseguir la estabilización de la temperatura en los platos.

El control de la temperatura y presión son importantes para la obtención de una vulcanización óptima y conseguir resultados de Laboratorio confiables.

4.- RHEOMETRO R-100

En el Laboratorio Analítico se cuenta con dos equipos de este tipo (Ver Fig. N° 26 en la Pag.N° 139), también se cuenta con el modelo MDR-2000 (Ver Fig.N° 27 en la Pag.N° 139) , los cuales serán detallados a continuación.

El Rheómetro es un equipo que permite obtener un record del cambio en el Módulo dinámico vs el tiempo durante la vulcanización de una mezcla de Compuesto de Caucho. El modelo usado para los efectos de investigación está diseñado para la obtención de una curva de vulcanización de repetitivas muestras bajo condiciones de operación similares .

Durante el ciclo de vulcanización, la constitución física de la muestra es modificada, por lo tanto la resistencia u oposición a la oscilación del rotor varía en proporción a la Dureza (Módulus) de la muestra.

El Módulo , Tensión , Stress (intensidad de fuerzas internas) actúan a travez de un punto sobre un cuerpo y son requeridos para estirar la sección transversal uniforme de un espécimen de prueba a una elongación dada. El valor del impulso rotativo se mide y se registra de una forma automática en función del tiempo en una gráfica o chart.

Los datos se registran en una gráfica, cuyo registrador está colocado en posición horizontal y va avanzando conforme transcurre el tiempo.

El punto máximo de cada ciclo de esfuerzo corresponderá entonces al Módulo Complejo Dinámico (medido a baja frecuencia).

En los equipos actuales se usa altas frecuencias porque solo interesa los puntos máximos. El equipo (Ver Fig. N°26 en la Pag.N°139), al trabajar a una alta frecuencia, grafica los puntos máximos en forma ininterrumpida proporcionando una curva continua.

Generalmente las temperaturas de prueba se encuentran entre 150 ° y 200° C. Para cada compuesto se tiene una temperatura y tiempo de vulcanización propios.

Una muestra circular del Compuesto de Caucho, de aproximadamente 9 +/- 1gr. es con-

finado en una cavidad hueca localizada entre los platos que son calentados eléctricamente. La temperatura de los platos y cavidades son mantenidos dentro de una variación de $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ por tres controladores de temperatura del tipo PID (proporcional, integral y derivativo).

El espécimen del compuesto de Caucho rodea completamente un disco bicónico (Ver Fig. N° 30 en Pag. N° 141), el cual oscila por medio de un eje central. El eje cuadrado del rotor es manualmente aprisionado por una carga dirigida axialmente al sujetador en el eje del Torque. Los platos que forman la cavidad son cerrados por medio de un sistema neumático y éstos permanecen así durante la vulcanización de la muestra. El rotor puede oscilar un arco de $1, 3$ ó 5° por la excéntrica adjunta al motor del eje, el arco de grado estandarizado es 1° . El motor usado en el Rheómetro 100 opera a 100 ciclos por minuto. El movimiento recíproco es transmitido desde la excéntrica a través de una ligazón conectada al brazo del torque y por medio de éste al eje del rotor para obtener el arco de grado necesario. El Rheómetro registra una fuerza cortante ejercida sobre la muestra debido a la formación de la reticulación cruzada, esta fuerza cortante es medida a través del medidor de esfuerzo (Strain Gauge). La rigidez de la muestra se incrementa cuando los enlaces cruzados son formados durante la vulcanización.

La señal de 100 ciclos por minuto es muy alto en frecuencia para ser grabado directamente, por lo que primero es convertido a una señal de corriente directa por el convertidor AC a DC.

El convertidor consiste en interruptores de efecto Hall de estado sólido accionados magnéticamente. El magneto actuante está localizado en una rueda conectada a un motor movido excéntricamente. Los interruptores de efecto Hall son posicionados con respecto al imán sincronizado tal que la señal del esfuerzo (Stress) es registrada en el punto máximo de cada ciclo de esfuerzo.

La señal de corriente directa resultante permite graficar una Curva de vulcanización suave y continua del Módulo elástico vs. el tiempo de vulcanización. El cambio en el Torque ó fuerza cortante sobre la muestra conforme varía el tiempo es graficado como un trazo continuo sobre un chart en un graficador de lecho plano potenciométrico. Dicho trazo es una curva conoci-

da como la “Curva de vulcanización” y es obtenida cuando el valor del torque que se grafica alcanza un valor de equilibrio o un valor máximo. El tiempo requerido para obtener una curva de vulcanización es función de la temperatura de la prueba y de las características del estado de vulcanización de la muestra durante la prueba.

Cuando se trata de obtener resultados consistentes, el método para cargar la muestra, es un factor importante porque debe ser efectuado en un mismo tiempo y de la misma forma, el papel del operador es importante cuando se trata de reducir el intervalo del tiempo de prueba entre las muestras, a fin de chequear la mayor cantidad de ellas.

Para la mayoría de los rheómetros usados en la aplicación del control de calidad, las velocidades usadas del chart son de 6 ó 12 minutos debido a que en ese tiempo la muestra vulcaniza a altas temperaturas. Tiempos de prueba, menores de 6 minutos no son recomendados debido a que se requiere un tiempo de 4.5 a 6 minutos para la recuperación de la temperatura fijada para las cavidades superior e inferior.

Si el operador selecciona una prueba de 3 minutos, es importante que esté conforme con el resultado de la prueba. Es también importante saber que en estas condiciones la prueba está siendo llevada a cabo a diferente temperatura que la fijada (set-point) inicialmente. La temperatura puede ser fijada a un valor un poco más alto que lo especificado para compensar en forma parcial la pérdida de calor.

Observando la Fig. Nº 33 de la Pag. Nº 144, tenemos que la pendiente total de la curva indica las correcciones de la formulación y consecuentemente para propósitos de Control es frecuente y únicamente necesario establecer límites fijos en el Rheómetro (se grafica puntos calculados previamente en el chart de Rheómetro), de tal forma de que las curvas obtenidas pasen por estos límites pre-establecidos.

Nota : Valores de torque y de tiempo de Scorch son comparados con los resultados obtenidos en el Viscosímetro Mooney a 121 °C

- El Módulo es convencionalmente determinado a una elongación de 300 %.

- Las pruebas del Rheómetro y la medición de Módulo se efectúan bajo diferentes condiciones y no se puede garantizar una relación estrictamente lineal, ya que el Módulo del Rheómetro es un Módulo determinado a bajo esfuerzo y temperatura elevada.
- Módulo a 300 % comprende un Módulo de Tensión Unilateral determinado a un esfuerzo mucho más alto y a temperatura ambiente.

5- RHEOMETRO MDR-2000

El nuevo rheómetro sin rotor (MDR-2000) "Moving Die Rheometer 2000" opera con un microprocesador de Control a través de una pantalla de un monitor donde se puede observar la Temperatura real de los platos, el valor del Torque, el tiempo de prueba que transcurre con el simple tecleo de algunos botones. Del mismo modo los resultados de cada uno de los parámetros de liberación son calculados y comparados con los valores especificados por medio del Software incorporado en el sistema. El software informa si la muestra controlada cumple con los valores especificados o no, por otro lado estos datos obtenidos también van siendo almacenados en memoria por medio del programa incorporado en el Sistema de Monitoreo diseñado por Goodyear para luego ser impresos y así contar con un registro final.

En la Fig. Nr.31 (Pag. Nº 142) se puede observar los componentes mecánicos del Rheómetro MDR-2000. En este modelo el aseguramiento neumático ha sido eliminado porque la pieza principal que oscila es el "dado" inferior.

En lugar de usar un Torque "transductor" en línea con un rotor, la reacción del torque es medido desde el Dado superior lo que significa que únicamente la fuerza transmitida a través de la muestra es determinada. En esta forma, el sistema de fricción es eliminado. Esta falta de fricción, conjuntamente con el sistema de señales del Sistema de procesamiento permite obtener información adicional en el Rheómetro MDR-2000.

La geometría sencilla del dado, sin un rotor presente, provee el potencial para una futura automatización del proceso de carga y descarga. Para materiales que son muy adhesivos se puede usar un papel antiadherente a fin de encerrar la muestra y mantener los dados limpios.

En adición ,la muestra delgada ,sin rotor ,permite una vulcanización rápida ya que el calor será transferido más rápidamente que en el ODR(Oscilating Disk Rheometer R-100).

En la Fig N° 32 (Pag.N° 143) se puede ver una curva de Vulcanización típica. Cuando una muestra fría es cargada, la temperatura del dado disminuye pero se recupera en 20 ó 30 segundos. Esta rápida recuperación de la temperatura permite retirar la muestra más aprisa.

En adición a los datos de vulcanización : un nuevo valor denominado Componente viscoso S'' es calculado, el cual no es mostrado en el monitor cuando se está efectuando la prueba, pero que puede ser graficado si se desea (Ver Fig. N° 37 en Pag.N° 148) . A continuación se hablará un poco de este componente.

Cuando el esfuerzo aplicado a la muestra en el MDR oscila a +/- 0.5 grados de arco , la respuesta de la Tensión resultante puede ser separado dentro de sus componentes elástico S' y viscoso S'' .Esta separación es posible hacerlo por el nuevo Sistema de procesamiento de señales, también por la eliminación de fricción en el Sistema de Torque y por el uso de apropiadas correlaciones matemáticas programadas en el software del Micro procesador. El módulo elástico S' es la curva que normalmente usamos para la caracterización de la Vulcanización,la cual está en fase con el esfuerzo aplicado.El Módulo viscoso S'' está fuera de fase con el esfuerzo aplicado.

La relación S'' sobre S' es conocida como tangente Delta.

Los componente S' y S'' y Tang.delta son características que describen el comportamiento de materiales poliméricos o viscoelásticos. Además, la separación en esta manera puede dar a los usuarios una buena comprensión acerca de la naturaleza del material chequeado. Los valores relativos de S' y S'' y Tangente Delta son diferentes para un material con alta densidad (como una banda de caucho) y para un material con alta absorción de energía (como un absorvedor de choque de caucho).

El microprocesador plotea S' y S'' (Ver Fig. N° 37 en Pag.N° 148) ó S' y Tangente delta respectivamente . Los valores mencionados de S'' en ML y S'' en MH,se refieren al Módulus viscoso en el Torque mínimo ML y Torque máximo MH,respectivamente.

En la Fig. N° 38 (Pag.N° 149),dos cauchos de butadieno con diferente contenido CIS son

comparados. Observar que las curvas de vulcanización S' no se separan y no se puede distinguir el contenido CIS, mientras que las curvas S'' son diferentes al inicio de vulcanización. Por lo tanto, las diferentes características en el proceso podrían anticiparse porque finalmente el compuesto obtenido sería el mismo.

Finalmente, la Fig. Nr.39 en la Pag. Nr. 150 muestra una comparación del uso de tres tipos de Negro de Humo, en un mismo compuesto de Caucho Natural. Las curvas de vulcanización S' son muy similares pero la curva viscosa S'' en todos los casos son muy diferentes. En estos casos la respuesta viscosa podría indicar problemas potenciales en el campo de los compuestos vulcanizados si un tipo de Negro de Humo equivocado es usado. Este tipo de problema no sería detectado utilizando solamente la curva de vulcanización.

Para comprender completamente la implicancia de estos datos en los efectos de la vulcanización en la mezcla del polímero y el Negro de Humo, los usuarios deben correlacionar estos resultados con la experiencia en fábrica y en el campo.

- Nueva tecnología del Rheómetro MDR-2000

La nueva tecnología del equipo en mención, incluida la fijación de las Temperaturas de prueba, tiempo de prueba, rango de torques y el cálculo de los datos deseados, están controlados por un microprocesador localizado en el panel de comando. Una impresora permite obtener los datos al final de la prueba; la información de la Temperatura y el Torque pueden ser mostrados en el tiempo real a través de un monitor.

El control de la temperatura es manejado en este equipo, por un software integrado, en lugar de utilizar Controladores de Temperatura separados. La exactitud de la temperatura en el nuevo diseño es de ± 0.2 °C comparado con ± 0.5 °C disponible con la vieja tecnología. Parte de la mejora en la exactitud de la temperatura es debido a la programación de los valores de resistividad de los sensores ubicados directamente dentro del microprocesador.

El uso de un microprocesador nos permite: leer la temperatura en °F ó °C, leer el torque

en dN-m o Lb-pulg , llevar los datos ya sea a una impresora, graficador ó una computadora al mismo tiempo que se desarrolla la prueba.

El microprocesador también asiste en la calibración del equipo ,indicando en pantalla las acciones que debe seguir el Operador y almacenando en memoria el valor del Torque Standard.

Presionando unos cuantos botones nos permite obtener el valor de equilibrio del Torque STD. al ser calentado sin la necesidad de resistencias.La pieza de calibración denominado torque Standard tiene un valor alto , para permitir mejor referencia a los valores de Torque típicamente probados.

Varios cambios mecánicos se han efectuado a fin de mejorar el comportamiento del sistema.Esto se muestra en la Fig.Nº 31 (Pag.Nº 142) . En lugar de utilizar un brazo de torque que mida el esfuerzo, un transductor de torque es posicionado inmediatamente debajo del “dado oscilante”.Los rodajes, sobre los cuales el dado inferior oscila, están lejos de la región caliente de la muestra y fuera del sistema de medición. Un cilindro neumático imparte un aseguramiento a presión constante sobre la muestra.

El sistema de codificación procesa la señal medida por el Transductor, el cual consiste de un disco con 16 perforaciones. Con cada oscilación del dado inferior, el disco también rota exactamente midiendo el desplazamiento y el correspondiente valor de torque en los 16 puntos. En el viejo diseño R-100, los interruptores de Efecto Hall medían la señal de Torque en dos puntos y cuando ocurría el desplazamiento del disco al girar, únicamente dos valores por oscilación eran registrados en comparacion con los 16 valores que actualmente se obtienen.

Finalmente, con el nuevo diseño, todos los componentes están montados en una plataforma metálica rígida para evitar la deflección del gabinete,lo cual permite una mejor consistencia en el montaje de los componente durante la manufactura.

El plato calefactor es más pequeño que en el diseño antiguo ;un calefactor plano circular concentra el calor más cerca del dado ,este calentamiento eficiente permite una rápida respuesta térmica cuando una muestra fría es cargada dentro del Rheómetro.

La recuperación de temperatura al valor que se ha pre-fijado es alcanzado en 50-60 se-

gundos comparado con 4.5 a 6 minutos con el R-100 , es más rápida y más consistente, lo cual permite el mejoramiento del comportamiento de la reproducibilidad ,menos influencia en los resultados de las pruebas y tiempos de prueba más rápidos debido a que la temperatura efectiva de vulcanización es incrementada . Aparte , los reportes también muestran valores de torque y tiempo de vulcanización que han sido alcanzados y son impresos automáticamente al final de cada prueba .La temperatura final para ambos dados (superior e inferior),también es impresa.

6.- VISCOSIMETRO MOONEY

El equipo de control denominado Viscosímetro fue diseñado conforme a la especificación descrita en el método de prueba ASTM D-1648 “ Viscosidad y Vulcanización ,características de caucho por el Viscosímetro de rotor”.

Permite determinar la precisa medida de Viscosidad , el tiempo de Quemado (Scorch) y la velocidad de Vulcanización de los compuestos de Caucho.

El Viscosímetro proporciona una gráfica que permite la lectura de la viscosidad en unidades de Viscosidad Mooney vs.el tiempo (Ver Fig. Nº 24 en Pag. Nº 137) sobre un amplio rango de temperaturas de 95-250 grados Centígrados (°C).

El funcionamiento consiste en la rotación de un rotor cilíndrico , con superficies corrugadas paralelas al costado (Ver Fig. Nº 29 en Pag. Nº 141),el cual es embebido en una muestra de Elastómero o compuesto de Caucho, éste es confinado en una cavidad que se forma cuando los platos son cerrados neumáticamente ,además son calentados eléctricamente.

La rotación del rotor ejerce un esfuerzo cortante sobre la muestra ; la fuerza requerida para hacer girar el rotor o disco es una medida de la viscosidad cortante, la cual es proporcional al promedio absoluto de la viscosidad.

Normalmente ,antes de iniciar la rotación del rotor ,se dá un tiempo de pre-calentamiento a la muestra dentro de la cavidad, es por esto que se grafica una viscosidad alta al inicio de la prueba ,la cual va decreciendo, conforme pasa el tiempo hasta lograr un valor mínimo . Los valo-

res son registrados en un chart colocado en un graficador de lecho plano.

Los tiempos de prueba, el tiempo de pre-calentamiento de la muestra y las temperaturas de trabajo son fijadas por el Método ASTM D-1648, aunque pueden ser modificados de considerarse necesario.

Los valores de viscosidad son reportados de la siguiente forma, de acuerdo al Método ASTM D-1648

50 ML 1+ 4 (100° C)

Donde 50M es el valor de la Viscosidad encontrada después de transcurrido un tiempo especificado en unidades Mooney.

L = indica el uso de rotor grande (Large)

1 = Tiempo en minutos de pre-calentamiento de la muestra

4 = Tiempo en minutos que dura la rotación del rotor

100 = Temperatura en grados Centígrados a la que se ha fijado la Temperatura de los platos.

Se ha observado que, cuando la temperatura es incrementada de 100° C a 125° C la viscosidad disminuye significativamente para un caucho típico. Esta baja viscosidad se debe a la reducción de la fuerza cortante en la interfase metal/caucho, lo cual a su vez permite disminuir el resbalamiento en la interfase.

Grandes esfuerzos han sido efectuados para reducir el resbalamiento de las paredes. Esto incluye proveer una superficie de caucho fresco a la interfase Caucho/metal así como controlar la presión. Caucho fresco es proporcionado a la cavidad del equipo por un recipiente de transferencia mediante un pistón localizado directamente encima del pistón principal. Esta máquina especial está provista con un rotor de velocidad variable. Varias ventajas son proporcionados por este equipo.

La prueba descrita por este método ha sido seguido por varias décadas.No quedará duda de que seguirá siendo utilizado por más tiempo ya que es conveniente y económico,únicamente su capacidad solitaria de velocidad de corte es una limitación.

7.- TENSIOMETRO

Después de obtener el compuesto final, se debe realizar el chequeo de las propiedades tensiométricas del material.

El amplio rango de elasticidad es una propiedad única del Caucho, lo cual permite que el producto final trabaje en un amplio rango de esfuerzos mayores que otros materiales.Por supuesto,la tensión asociada con un específico esfuerzo depende del Módulo del compuesto de caucho.

El término Módulo es comúnmente sustituido incorrectamente por el término Tensión a una elongación dada. La diferencia del significado entre estos términos y su aplicabilidad a las pruebas de Caucho es discutida para una variedad de maneras de esfuerzo o estiramiento.

Tensión uniaxial.- Este se refiere al estiramiento del caucho a lo largo de un eje solitario; las pruebas hechas de esta manera son normalmente referidas como pruebas de Tensión. Estas pruebas merecen considerable atención porque es bastante usado en la Industria del Caucho.Hay muchas razones para ello. Las pruebas efectuadas en un espécimen de Prueba proporciona una huella digital, por así decirlo, de la composición a base del Caucho. Los resultados indican por ejemplo , si los ingredientes han sido incorporado correctamente o si las condiciones de vulcanización están correctas.

A partir de una sola prueba, se puede obtener tracciones a diferentes elongaciones (típicamente 300 %), elongación a la ruptura y fuerza en el punto de ruptura.Estos valores son ampliamente usados para el control de la Calidad y para propósitos de obtener una especificación . Previamente , el tiempo de vulcanización óptimo para las composiciones de caucho han de ser establecidas por medio del ploteo de una curva para los valores de tracción a un valor dado de elongación vs. el tiempo de vulcanización . El tiempo de vulcanización óptimo fue seleccionado de una parte de la curva donde la tracción cambió muy poco cuando el tiempo de vulcanización

fue incrementado. Este método ha sido desplazado casi totalmente por el Rheómetro de disco oscilante.

Un solo test con el Rheómetro proporciona la misma información que la obtenida por medio de varias pruebas de tensión.

En la medición de las propiedades tensiométricas, la elongación es usualmente expresado en porcentaje. Una elongación de 300% quiere decir que un espécimen de sección transversal uniforme es estirado 4 veces su longitud inicial. Para un espécimen obtenido con un sacabocado, el incremento en longitud debe ser medido entre puntos prefijados con un marcador. La tracción (fuerza por unidad de área de sección transversal) normalmente es tomada a una elongación de 300%. (Ver Fig. Nº 25 en Pag. Nº 138).

El método dominante en la determinación de las propiedades tensiométricas es el Método ASTM D-412. El espécimen más usado frecuentemente tiene forma de una corbata cuya forma está estandarizada y es obtenida a partir de un compuesto vulcanizado, la probeta es moldeada por un sacabocado con borde afilado. Para la prueba, los extremos de la probeta son cogidos en las muescas de una máquina de prueba de Tensión denominado Autográfica (Ver Fig. Nº 23 en Pag. Nº 136). Durante la prueba, las muescas se separan, generalmente, a una velocidad de 8.5 mm/seg. (20 pulg/min). Normalmente, especímenes con lados derechos son evitados porque éstos tienden a quebrarse en las muescas, por ello se les redondea los lados.

El sacabocado está diseñado para :

- 1.- Evitar rupturas en la zona donde es cojido por las muescas.
- 2.- Causar fallas en la región angosta y alejados de los lados redondeados.

La región angosta tiene el área más pequeña de sección transversal, la mayor tracción ejercida por una fuerza dada debe ocurrir en esta zona y la ruptura se producirá siempre en esta región. Algunas veces la ruptura ocurre en la región del hombro del espécimen de prueba, pero para que ello sea evitado, la forma de la probeta debe ser la correcta.

De acuerdo al Método ASTM D-412, la media de los valores de tres especímenes son tomados como las características del Caucho que está siendo chequeado. Las pruebas de Tensión

son extensamente usadas en la Industria del Caucho por lo que son muy importantes.

Las pruebas de Tensión son útiles como herramientas de desarrollo de un Compuesto y más tarde como control del mismo. Las pruebas son sensibles a los errores de producción, como por ejemplo: el estado de vulcanización, la dispersión de los ingredientes y la presencia de materiales extraños, indudablemente tienen sus limitaciones y éstas deben ser aceptadas.

Sin embargo, los resultados de las pruebas proporcionan la información necesaria para saber si el producto elaborado con el caucho cumple con los requerimientos especificados. Por otro lado también sirve como arma de Control de Calidad como ya lo hemos dicho, ya que si bien actualmente se utiliza el Rheómetro como Instrumento de Control de propiedades de vulcanización, debido a su rapidez, sin embargo, el test de propiedades Tensiométricas es usado para corroborar los resultados obtenidos en la curva de Vulcanización.

Las propiedades tensiométricas de los Compuestos de Caucho son determinadas de acuerdo al Método ASTM: "Tension Testing of Vulcanized Rubber" (ASTM Designation D412). Los especímenes de prueba son cortados por medio de un Sacabocado, obteniéndose especímenes de 1/4 de pulgada de ancho en la parte más angosta a partir de láminas de pruebas vulcanizadas, acondicionadas convenientemente y mezcladas empleándose las formulaciones y los procedimientos de mezclado estandarizados. Los siguientes detalles han sido extraídos del método ASTM:

La temperatura estándar para la prueba debe ser $23 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 2^{\circ}\text{F}$). Los especímenes deben ser acondicionados por lo menos 8 horas a la Temperatura del ambiente. Cuando no sea posible alcanzar esta condición de Temperatura, el reporte deberá indicar la temperatura real al momento de la prueba.

Para determinar la resistencia a la tensión, tensión de ruptura y elongación final, los especímenes cortados deben ser colocados en las muescas del tensiómetro, teniendo cuidado en ajustarlo simétricamente para que la tensión sea distribuida uniformemente sobre la sección transversal. Si la tensión es más grande en un lado del espécimen que en el otro, las marcas no permanecerán paralelas y la máxima fuerza de resistencia del caucho no será desarrollada. Al funcionar

el equipo ,la distancia entre el centro de las dos marcas deberán ser observadas continuamente, teniendo cuidado de evitar paralelaje. Para los materiales que están bajo prueba ,el esfuerzo a una elongación dada hasta el punto de ruptura es registrado en una gráfica u otro medio.

Al momento de la ruptura, la distancia para el cálculo de la elongación puede ser medida con la aproximación de 0.1 pulgadas y registrada debidamente.

Cálculos :

a).- Tensión de ruptura

Será calculada dividiendo la Fuerza de ruptura en libras entre el área original de la sección transversal del espécimen expresado en pulgadas cuadradas y será reportado en libras por pulgada cuadrada.

b).- Elongación Final

Será calculado substrayendo la distancia original entre las marcas de referencia en pulgadas del total de la distancia entre las marcas al tiempo de la ruptura y expresando esta diferencia como un porcentaje de la distancia original ,tal como sigue

$$\text{Elongación final (\%)} = \frac{D - G}{G} * 100$$

D = Distancia al punto de ruptura

G = Distancia original (Unidades de longitud)

8.- REBOTE (Resiliencia)

Un péndulo pesado golpea una muestra de Compuesto de caucho vulcanizado que tiene un espesor apropiado y la amplitud del Rebote es medido .La resiliencia está dada como la relación entre la energía dada al péndulo por la muestra a la energía dada a la muestra por el impacto del péndulo, después de que el espécimen se ha recuperado de la deformación .Los siguientes Métodos ASTM están disponibles para determinar la RESILIENCIA.

El método ASTM D-2632 utiliza un punzón guiado que es permitido caer libremente sobre una superficie horizontal de una muestra de Caucho, la altura a la cual el punzón rebota es una medida de la resiliencia del espécimen.

Con el Método ASTM D-1054, un péndulo que oscila libremente impacta sobre la superficie vertical del espécimen de Caucho.La extensión del péndulo de Rebote determina la resiliencia. Mientras que esta prueba es simple para llevar a cabo , es afectada por factores, tales como la presencia o ausencia de lubricante de molde en la superficie del espécimen.

Hay otro Método ASTM D-945,el del Oscilógrafo Mecánico .En este método ,la resiliencia es obtenida sobre un espécimen en compresión o esfuerzo cortante.

La resiliencia es dependiente de la elasticidad del Caucho ; ésta se incrementa con la rigidez y decrece cuando las deformaciones rápidas causan fricciones internas substanciales. La resiliencia es una característica sencilla pero es un indicativo de la calidad del Compuesto de Caucho y su uso está extendido en la Industria del Caucho.

Las pruebas : Tensión, Compresión,Dureza, etc. son considerados pruebas estáticas,desde que la deformación a la que están sujetas las muestras es relativamente bajo, esto es,unas pocas pulgadas en un minuto.

Bajo condiciones reales de servicio,las deformaciones de las llantas de caucho ocurren a alta velocidad y en menos de unos pocos milésimos por segundo.

Bajo tales condiciones, el comportamiento del caucho será ligeramente diferente que aquellos observados bajo condiciones estáticas. Por lo tanto las denominadas pruebas dinámicas son efectuadas en aparatos operando a muy alta velocidad para los que han sido diseñados.

9.- DUREZA (Durómetro)

La Dureza es la resistencia a la penetración del piquete de un Instrumento diseñado para tal efecto, denominado Durómetro, medida bajo condiciones específicas. Estas condiciones están señaladas por el Método D-2240. El Durómetro tipo "A" es usado para compuestos de Caucho que tengan Dureza hasta 90 "A"; el Durómetro tipo "D" es usado para durezas mayores que 90 "A".

La resistencia dependerá ,con algunas excepciones ,de las condiciones de la superficie en el producto de prueba, pero dependerá principalmente de las propiedades intrínsecas y particularmente de la elasticidad del producto en prueba.

La Dureza es una propiedad compleja y es difícil hacerla encajar en una definición, pero la experiencia muestra que la medición estática, cuando es llevada a cabo con un Durómetro, es de gran importancia. La variación en la composición del compuesto de Caucho está bastante reflejado en la resistencia a la penetración y por lo tanto al valor numérico de la dureza.

Al momento de efectuar la medición , el piquete y la superficie plana del fondo de cada lado del piquete del durómetro tipo "A" descansan sobre la superficie de la muestra del compuesto del Caucho. El piquete, que es un resorte cargado, actúa como un indicador sobre una escala calibrada donde la lectura va de 0 a 100 .

La lectura indica la resistencia a la penetración del piquete.

Es evidente que la geometría del piquete especificado debe ser mantenido para obtener lecturas reproducibles porque el resorte presiona el piquete dentro del caucho con una fuerza limitada, las medidas de la Dureza son hechas a baja presión.

Ventajas y desventajas.

Las instrumentos para medir la dureza son relativamente baratos y las medidas pueden ser hechas en superficies irregulares en forma suave. La ventaja dominante es la facilidad con la cual las mediciones pueden ser efectuadas por un Instrumento manual.

Una de las desventajas es que puede obtenerse lecturas erráticas cuando se efectúa las medidas en una superficie de caucho irregular y si no se realizan con cuidado.

Se debe tener mucho cuidado al efectuar las lecturas .El procedimiento correcto está indicado en el Método ASTM D-2240.

El calibre del espécimen debe ser por lo menos de 6 mm (0.25").

La punta del Instrumento debe ser presionado contra el espécimen de Caucho tan rápidamente como sea posible, cuando se hace esto la base del durómetro debe estar paralelo a la superficie del Caucho.

Se debe tener cuidado de que la punta no sea dañada y de que el Durómetro esté apropiadamente calibrado, pero aún con estas precauciones, las dificultades se presentan cuando las medidas de la Dureza son efectuadas con equipos de diferentes fuentes.

El Instrumento más común usado es el Durómetro Shore A.

VIII- VULCANIZACION

1.- Definición

La Vulcanización se inicia a través de la incorporación de algún tipo de energía, esta energía permite que los polímeros interactúen con los Agentes vulcanizantes, permitiendo la unión de 2 cadenas de polímeros con 1 o más átomos de Azufre combinados gracias a los Aceleradores o en su defecto por donadores de Azufre. Dentro de la estructura química de los Elastómeros deberá existir los lugares estadísticamente favorables para que se lleve a cabo las uniones de las cadenas en una red química.

Los Cauchos o elastómeros son polímeros, pero una clase separada de Polímeros, los que deben contener alguna insaturación y contar con un punto de ataque de reacción con el Azufre, de esta forma pueden formar un enlace con otras cadenas.

- Si en el polímero el grado de insaturación es alto, la Vulcanización será más fácil.

Por ejemplo : El Caucho Natural tiene 1 enlace doble por cada 5 átomos de Carbono.

- Si el grado de insaturación es bajo, la vulcanización será más lenta

Por ejemplo : El Caucho Butilo tiene un doble enlace por 401 átomos de Carbono

Tales lugares están disponibles a través de una o más de las condiciones siguientes

a).- Inherentes.- Cuando existe enlaces dobles en elastómeros conteniendo dienos

b).- Específico.- Denominado así cuando hay dobles enlaces en las ramificaciones de la estructura central de los lugares de Vulcanización de los monómeros.

c).- Químicamente inducidos.- Existen sitios reactivos cuando se pierde átomos de Hidrógeno.

Los sitios adecuados de las moléculas en las cadenas son unidos uno a otro por un enlace covalente por medio de las ligaduras cruzadas (Ver Fig. N° 40 en Pag.N° 151), dejando espacios ampliamente separados a través de

- Átomos de Azufre
- Enlaces Carbono-Carbono
- Radicales orgánicos polivalentes
- Iones metálicos polivalentes

La inserción de estos enlaces entre las cadenas de polímeros producen :Redes moleculares y coyunturas de redes (network junctures).

Durante la vulcanización se forma una red molecular por medio de la presencia de un reactivo o agente químico creando un encadenamiento químico en forma conjunta, manteniendo unidos cadenas de moléculas independientes

La vulcanización envuelve la formación de enlaces entre largas cadenas que constituyen las moléculas de Caucho; como resultado de las redes de enlaces, el movimiento independiente de las cadenas de polímeros es marcadamente restringido. Además, las cadenas de polímeros no pueden pasar de un lado a otro tan fácilmente como antes de la vulcanización,produciendo la consecuente disminución de la elongación y la Resistencia al incremento de la deformación (Módulus).

Los enlaces dan a las cadenas una mayor tendencia para retornar al arreglo geométrico original cuando la fuerza deformante es retirada, lo cual explicaría la gran elasticidad y resistencia a la deformación. La Estructura Tridimensional de los enlaces vuelve al Caucho vulcanizado más insoluble en solventes y más resistentes al ataque del calor ,luz y material químico.

El Caucho vulcanizado resultante se encoge enérgicamente a su estado original después de haber sido sometido a deformaciones grandes impuestas en forma mecánica.

La vulcanización es una REACCION INTERMOLECULAR, la cual incrementa la fuerza reactiva y reduce la cantidad de deformación permanente remanente después de retirar la fuerza deformante.

Durante la vulcanización,el Caucho cambia desde ser esencialmente un material plástico a un material elástico o rígido (duro).Se incrementa la Elasticidad mientras la Plasticidad disminuye.

Fuerza de encogimiento resistente a una deformación (O fuerza que se opone a la Deformación)	–	Número de puntos que mantienen unidos entre las cadenas del polímero en la red
		Volumen del elastómero

Las curvas rheométricas que se muestran en los gráficos de las figuras N°34, 35 y 36 de las Páginas 145/146/147 no son funciones de la densidad de los enlaces únicamente, sino también son afectadas por el tipo de enlaces cruzados, naturaleza del polímero, tipo y cantidad de carga, etc.

Como resultado de un exceso de Vulcanización se produce la Reversión (Fig.N° 33 en la Pag.N° 144), el cual es un término aplicado a la pérdida de la estructura de la red.

El término Crosslinking es usado cuando se utiliza peróxidos en la Vulcanización .Una cantidad enorme de trabajo ha sido efectuado en un esfuerzo por descubrir los misterios de la vulcanización con Azufre.

Teoría moderna de la Vulcanización

Para comprender mejor el comportamiento de un polímero se debe considerar que :

1.-La mayor parte de nuestro conocimiento de la química del polímero está basado sobre la suposición básica que la reactividad de un grupo dado no es afectado por el tamaño de la molécula en la cual dicho grupo forma parte.

2.-El requerimiento esencial para que una sustancia sea del tipo Caucho es que esté conformado por largas, flexibles e iguales cadenas de moléculas.

3.-Las moléculas por sí mismas deben tener un tronco principal o espina dorsal que contenga enlaces de Valencia solos (que no sean colineales y por medio de los cuales sea posible una rápida rotación como el resultado de una agitación térmica) .

La Fig. N° 43 en Pag.N° 153 ilustra los diferentes grados de libertad mecánica de una molécula de Caucho natural ; en la figura se puede observar que para una molécula lineal se

tiene mayor movimiento rotacional y menor grado de encogimiento y flexión .

En un modo ligeramente estirado , la red deformada, típicamente tiene energía suficiente almacenada para retornar casi a su forma original cuando se deja de aplicar el esfuerzo.

De acuerdo a la comparación entre la Fig.Nº 42 y la Fig.Nº 43 en Pag. Nº 153, se hace casi aparente que los polímeros que tienen anillos en su estructura central no pueden ser del tipo Caucho.

Ahora, está bien establecido de que una deformación debida a una tensión, se origina dentro de las “cadenas soporte” en la red por unidad de volumen del Elastómero.

Una “cadena soporte” es un segmento de la Estructura central entre las uniones de la red, un incremento en el número de uniones nos dá un incremento en el número de “cadenas soporte”

En resumen ,el aspecto de caucho en un elastómero es impartido por las moléculas individuales de cadena larga .La capacidad de soportar cargas de la red, es el resultado de mantener dichas cadenas largas juntas por medio de las uniones de la red en forma química.

Fundamentos de las ligaduras cruzadas

Las moléculas del caucho crudo, el cual ha sido mezclado con pigmentos y preparados para ser moldeados, pueden ser considerados como una masa de, más o menos, cadenas enredadas.

Durante el proceso de Vulcanización, las moléculas son juntadas por medio de ligaduras cruzadas, dejando espacios ampliamente separados.

Por lo menos uno de cada 100 unidades de Isopreno en el caucho natural (NR) llega a ser ligado en una vulcanización práctica .Las ligaduras cruzadas pueden ser formadas y unidas por átomos de Azufre ,de radicales orgánicos ó bien las cadenas pueden ser unidas por enlaces C-C (carbono-carbono) formados entre miembros de las cadenas de Carbono

Tipos de ligaduras cruzadas:

- Los enlaces tipo Puente conformados por agentes de vulcanización, los cuales son , hablando desde el punto de vista químico, elementos bivalentes o compuestos bifuncionales

Ejemplos :

Atomos bivalentes o radicales Fig. Nº 44 (Pag. Nº 154)

Ligaduras cruzada tipo puente Fig. Nº 45 (Pag. Nº 154)

- Ligaduras tipo C-C, son efectuadas por radiación de alta energía o por sustancias que forman radicales libres monovalentes bajo condiciones de vulcanización . Ver Fig.Nº 41 en Pag. Nº 152.

A continuación presentamos algunos generadores de Radicales libres:

Rayos Gamma

Dicumil Peroxide = Peróxido Dicumil

Benzotricloro + Litargirio

Aquí uno de los hidrógenos alílicos es activado por el efecto de repulsión del electrón del grupo metilo . Este efecto inductivo es observado en el más simple de las moléculas.

Debido al efecto inductivo del grupo metilo, el NR es vulcanizado más rápidamente, requiere menos acelerador y más bajas temperaturas que el SBR y el PoliButadieno.

En el Cuadro VIII (Pag. Nº 117) se muestra las estructuras de elastómeros de uso general mostrando los sitios probables (↗) para las ligaduras cruzadas ,tal es el caso del Caucho Natural (NR),Butadieno (BR) y Estireno Butadieno (SBR).

Vulcanización con Azufre

El Azufre es el original y más usado Agente vulcanizante, debido a su versatilidad y menor costo. El azufre es un material inerte desde que existe en la forma de un anillo estable de 8 átomos. Fue el primer agente usado para vulcanizar al Caucho Natural.

La función del Acelerador es abrir el anillo del Azufre y generar radicales activos de azufre tal como -Sx- donde x puede ser 1 u 8.

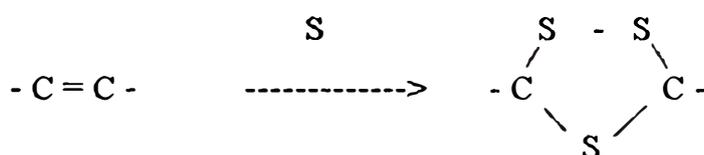
La elección del acelerador determina la temperatura a la cual el Azufre llega a ser activo

y esta flexibilidad, no únicamente puede ser ventajosa, sino necesaria.

También se sabe que cuando el enlace es de tan solo uno o dos átomos de Azufre, excelentes materiales envejecidos son obtenidos.

Todos los resultados indicaron de que una reacción simple se llevaba a cabo, envolviendo enlaces de monoazufre entre los dobles enlaces.

Una teoría de Erdmann (1908) involucra un tiozono, sugiriendo que el azufre es adicionado a un doble enlace en una manera como lo hace el ozono.



El uso del Azufre fue descubierto separadamente por Charles Goodyear en 1839 en los Estados Unidos y por Hancock (1843) en Gran Bretaña. Ambos, observaron que calentándose el Caucho Natural conjuntamente con el Azufre, se mejoraban las propiedades químicas y su resistencia al envejecimiento.

En el año 1839 Weber, quien era un químico británico, descubrió que el azufre estaba combinado en un Caucho vulcanizado en lugar de estar simplemente dispersado.

Los conceptos modernos de la ciencia del polímero permiten tener una visualización más simple de la combinación química entre el Caucho y el Azufre.

Las largas cadenas de las moléculas de Caucho son simplemente juntadas por eslabones cruzados, los cuales modifican sustancialmente las propiedades del Caucho.

Tal como la Fig. N° 41 (Pag. N° 152) nos muestra, algunas de las cadenas de azufre conectan diferentes puntos de una misma cadena de polímeros ó puntos de diferentes cadenas. Al primer tipo de estas uniones se conoce como juntas intramoleculares (intramolecular crosslink) y al segundo se le conoce como juntas intermoleculares (intermolecular crosslink).

El cambio de las propiedades físicas del Caucho vulcanizado es debida principalmente a las Juntas intermoleculares.

2.- CURVA DE VULCANIZACION

En la Fig. Nº 33 (Pag. Nº 144) se muestra una curva típica de vulcanización, indicando los parámetros que usualmente son requeridos para el Control de Calidad de los compuestos de Caucho.

Según el método ASTM-2084, varios puntos correspondientes a la curva son tomados como parámetros standard. Dichos puntos son

- 1.- Viscosidad de la mezcla no vulcanizada. Torque mínimo (Mooney lower) =ML
- 2.- Tiempo de vulcanización incipiente (tiempo Scorch) ,es el tiempo para obtener una cantidad dada de torque por encima del valor mínimo. Se considera un número determinado de unidades por encima del valor del Torque mínimo.
 $ts1 =$ minutos para alcanzar 1 lbf-pulg más que el valor del torque mínimo usado con 1° de arco.
 $ts2 =$ tiempo necesario para alcanzar 2 lbs-pulg por encima del valor mínimo usando 3° de arco.
- 3.- Tiempo de cura ó tiempo de Vulcanizado.- Es el tiempo para obtener un máximo torque desarrollado.
 $tx =$ minutos para x (MH/100) Torque
 $tx' =$ minutos para x' % del torque aumentado
 Donde : $x' = ML + x/100 (MH - ML)$
- 4.- Torque de equilibrio : Mhf (dN-m o lbf-pulg)
 $Mhf =$ Torque máximo donde la curva alcanza un valor que se mantiene constante a lo largo del tiempo.
- 5.- Torque máximo ó Modulus final (curva de reversión)
 $Nhr =$ Es el más alto torque alcanzado en una curva donde el valor de equilibrio ó máximo valor no es obtenido.
- 6.- Indice de velocidad de cura : $100/(tc(x)-ts(x))$:Parámetro aprox.de la velocidad de cura, la que es proporcional a la pendiente media de la parte de la curva considerada.

3.- ETAPAS DE VULCANIZACION

Las etapas de la vulcanización pueden ser observadas en la Fig. N° 32 (Pag. N° 143) .

La curva es un ploteo continuo del torque (módulo dinámico vs. el tiempo) y es dividida frecuentemente en tres regiones

Parte 1.- Representa el rango de proceso de un compuesto dado . Esta fase es una medida de la viscosidad del compuesto ó características de fluidez a temperaturas de vulcanización.

Parte 2.- Detalla la velocidad de vulcanización de un compuesto y comienza con una vulcanización incipiente, la cual es referida como ts_1 ó ts_2 ; por ejemplo, una unidad o dos unidades (lbs-pulg) respectivamente, por encima del valor mínimo del torque .Representa la influencia positiva hacia la parte superior de la curva de vulcanización .

Parte 3.- Indica el máximo torque desarrollado ó el máximo grado de enlazamiento cruzado alcanzado en la vulcanización completa de un compuesto a una temperatura de prueba dada.

En la parte final de la curva del Rheómetro, ésta puede tener tres formas generales , tal como se muestra en la Fig.N° 33 (Pag. N° 144) .Dichas curvas son representativas de los compuestos ,los cuales

- a).- Alcanzan un nivel de equilibrio
- b).- Muestran una disminución en el Torque después de haber alcanzado algún valor máximo del torque .Se le conoce como curva de reversión
- c).- El torque continúa aumentando sin aparente nivel de detención (Módulo marchante)

En la interpretación de la gráfica obtenida en el Rheómetro, varios puntos son tomados como parámetros standard. Dichos puntos ya han sido mencionados anteriormente.

Aunque menos rheómetros son usados en el trabajo de desarrollo de nuevas formulaciones que en el control de Calidad, el Rheómetro es un instrumento muy valioso en el desarrollo de nuevos Compuestos.

El uso del Rheómetro en el trabajo de desarrollo de nuevos productos de caucho permite que la composición del compuesto en evaluación, sea modificado hasta que el proceso deseado y

las propiedades de vulcanizado sean obtenidas.

El efecto de los cambios en las características de la Viscosidad y el Scorch pueden ser determinados en la primera fase de la Curva de vulcanización.

Los ingredientes de los Compuestos afectan la velocidad de la Vulcanización y el módulo de un Compuesto vulcanizado y su acción puede ser observado en las dos últimas fases de la curva de vulcanización.

Las curvas de la Fig. N° 34 (Pag. N° 145) ilustran que, cuanto menor es la concentración del acelerante, éste altera las regiones de la curva ,nótese que la primera fase de la curva (región de procesamiento) no es afectada por los niveles del acelerador. De todos modos, las fases 2 y 3, es decir : la velocidad de vulcanización y el grado de Crosslinking son alterados significativamente.

Un segundo ejemplo de variación en la composición está dada en la Fig.N° 35 (Pag. N° 146) . En este ejemplo, los niveles de Negro de Humo fueron incrementados en un compuesto SBR y el efecto mismo sobre las curvas de vulcanización es bastante evidente.

Otro ejemplo se muestra en la Fig. N° 36 (Pag. N° 147) donde se puede observar cómo la variación en la cantidad del Azufre y el Acelerador, afectan a las curvas Rheométricas.

El Rheómetro puede ser usado para mostrar compuestos en desarrollo, de esta manera únicamente aquellos compuestos que tienen vulcanización y características de proceso satisfactorias son probados para las propiedades de comportamiento. Haciendo ello ,se puede reducir el costo de desarrollo de compuestos nuevos, los cuales en la actual situación económica es un deber.

IX .- METODOS DE ANALISIS

La finalidad de los análisis que se efectúan a las muestras en las pruebas de Laboratorio y a nivel industrial, es la verificación de que todas las propiedades físicas y químicas del producto cumplan con las normas establecidas.

Si los resultados de los análisis obtenidos no corresponden a lo requerido, entonces deberá efectuarse variaciones en los parámetros, en las operaciones ó en los procesos de fabricación , a fin de obtener un producto que cumpla con las especificaciones.

La mayor parte de los Métodos de Análisis se encuentran estandarizados por la American Standard Testing Methods Associations y su designación normalmente es mediante el siguiente formato ASTM D(Número). En algunos casos se producen ciertas variaciones en los métodos originales cuando son utilizados, pero éstos siempre siguen siendo la base de los análisis que se llevan a cabo en los materiales.

Determinación de Viscosidad

Esta propiedad es determinada en los Compuestos de Caucho Productivo y No Productivo (material que no vulcaniza), la finalidad es el de registrar la Viscosidad cortante , la cual es proporcional al promedio absoluto de la viscosidad.

Esta propiedad es utilizada para evaluar la operación de mezclado en el Banbury ya que en esta operación se desea obtener batches bien dispersados y uniformemente mezclados.

Contando con un material uniforme; se puede obtener perfiles adecuados de los Componentes en la operación de Entubado o extrusionado, los cuales son necesarios para construir la llanta. Controlandose esta propiedad se puede obtener una reducción del desperdicio que puede generarse durante la operación.

Solamente los Compuestos productivos pueden ser entubados o extruídos , sin embargo, la viscosidad o plasticidad de los No productivos es importante porque, conociendo el comportamiento de éstos es posible tomar decisiones respecto a la necesidad de aumentar o disminuir el número de pasos en la mezcla del Compuesto.

El equipo que es utilizado para determinar esta propiedad se denomina Viscosímetro (Ver Fig.Nº 22 en Pag. Nº 136) y ya se ha hablado de este equipo anteriormente (Pag. Nº 66).

Para la Industria del Caucho ,las condiciones de prueba para los Compuestos No Productivos y Productivos han sido estandarizados por la Casa Matriz de Akron y son indicados a continuación :

Compuestos Productivos : MS 1 ' + 1.5 ' @ 100 ° C

Compuestos No Productivos : MS 1 ' + 3.0 ' @ 100° C

Donde :

MS = (Mooney Small) -Indica el uso de un rotor pequeño, puede haber casos en que se utilice un Rotor grande.

1' = Indica un minuto de calentamiento, después de colocar la muestra en el equipo.

1.5' ó 3.0' = Tiempo que requiere la prueba, puede variar dependiendo del material que está siendo controlando.

Los resultados que se obtienen en el Control diario pueden ser acumulados para luego ser procesados y evaluados, actualmente se está haciendo uso del llamado Control Estadístico de Proceso (SPC= “ Statistical Process Control”), principalmente en esta propiedad, con la finalidad de relacionar los datos obtenidos con problemas que se presentan durante la operación del mezclado, extrusión o con variación en la materia prima, especialmente con los Cauchos.

Estos resultados son llevados a unos gráficos de Control donde es más fácil visualizar la tendencia que se está presentando con la viscosidad para que puedan ser corregidos adecuadamente.

1.- VISCOSIDAD MOONEY

Objetivo .- El método cubre el uso del Viscosímetro de disco cortante y es usado como un método Standard para la determinación de la viscosidad de un Elastómero ó de los compuestos de Caucho mezclados. Debemos entender que la viscosidad usada en este método debería ser interpretado como “Viscosidad Mooney”, es decir una medida del Torque cortante promediado sobre un rango de velocidades de fuerzas cortantes.

Significado.- Los valores de viscosidad determinados por este Método dependen principalmente del tamaño y la configuración de la molécula de Caucho y de los constituyentes que pueden estar presentes. Ya que el Caucho se comporta como un fluido newtoniano, no existe una relación muy simple entre el Peso molecular y la Viscosidad. Entonces, la debida precaución debe ser tomada en la interpretación de los valores encontrados, particularmente en casos donde el peso molecular es muy grande. El torque requerido para rotar el disco, es graficado en un chart dentro de una escala lineal graduada en unidades de viscosidad Mooney, de tal forma que el torque de 8.3 N-m (73.5 lbs-pulg) sobre el esfuerzo del rotor, es igual a 100 sobre la escala Mooney.

Espécimen de la prueba.- El espécimen deberá consistir en dos piezas del material que está siendo chequeado, que en conjunto tienen una masa de 27 +/- 3 gr. , para los Cauchos ó compuestos que tienen una gravedad específica menor de 1.1 . Para Cauchos o compuestos en los cuales la gravedad específica es mayor que 1.1, la masa del espécimen deberá ser incrementada apropiadamente.

Las piezas deberán ser acondicionadas antes de la prueba conforme se señala en el Método (Ver Cuadro XI en Pag. Nº 120) y cuyas dimensiones permitan llenar toda la cavidad del Viscosímetro . El espécimen de prueba debe estar libre de bolsas que puedan atrapar aire contra el rotor o las superficies de la cavidad, lo cual ocasionaría registro de lectura erróneas y deben ser evitados.

2.- SCORCH MOONEY

Esta prueba descrita por el Método ASTM D-1646, mide el inicio de la Vulcanización, es decir, el tiempo en el que la formación de los enlaces cruzados comienza a ocasionar un incremento en el Torque.

Una Temperatura óptima de prueba será tal que permita alcanzar el incremento de Torque deseado en un período de 10 a 20 minutos.

Una temperatura típica utilizada es 121 °C (250°F)

La prueba de Scorch es normalmente efectuada utilizando un rotor pequeño tal como se muestra en la Fig. Nº 29 (Ver Pag. Nº 141). En forma similar a la prueba de Viscosidad, la muestra es calentada entre los platos por un minuto antes de empezar la rotación.

En el inicio de la prueba, la viscosidad es alta porque el Caucho ó compuesto de Caucho necesita tiempo para alcanzar la Temperatura de los Platos. Conforme transcurre el tiempo, la viscosidad disminuye hasta alcanzar un valor mínimo. Con el calentamiento continuo se inicia la vulcanización y el tiempo de formación de enlaces cruzados es conocido como "t3 ó t5".

El valor de t5 es el tiempo requerido después de aumentar 5 puntos al valor mínimo de la viscosidad y en el caso de t3 es el tiempo 3 unidades por encima del valor mínimo de la viscosidad.

Conforme pasa el tiempo, la curva continúa incrementándose a la vez que el entrelazamiento se incrementa, eventualmente se produce un desgarramiento y desmenuzamiento del compuesto de Caucho, por lo que el rotor ya no puede registrar la resistencia a la rotación del rotor, es en este punto donde se puede afirmar que se está produciendo la reversión.

El tiempo de scorch permite saber cuanto tiempo puede procesarse el compuesto en cada etapa donde requiere procesabilidad y puede darnos el tiempo necesario para evitarse la pre-vulcanización.

3.- GRAVEDAD ESPECIFICA

La Gravedad Específica del compuesto de Caucho vulcanizado es la relación del peso en aire de un volumen dado de material a una Temperatura establecida y del peso en el aire de un volumen dado de agua destilada a la misma temperatura. De acuerdo a lo establecido en las definiciones de la terminología relacionada con la gravedad Específica, este parámetro debería ser designado por la expresión “Gravedad Especifica x/x °C “, donde x/x son la temperatura en grados Centígrados (° C) del material y del Agua.

La gravedad puede ser determinada por cualquiera de los Métodos aceptables:

- 1.- Gravitrómetro de Young (Young's Gravitometer)
- 2.- Balanza de Jolly (Jolly's balance)
- 3.- Inmersión en soluciones de densidad conocida.
- 4.- Balanza analítica.
- 5.- Densitómetro Firestone (Firestone's Densitometer) - Para Caucho regenerado no vulcanizado y rápido control de Fábrica .

Debemos tener presente que lo que se está determinando es la gravedad específica del compuesto de Caucho vulcanizado. El cual lleva en su formulación varios ingredientes, como en el caso de Compuestos Productivos y No Productivos.

Cuando las fórmulas de los compuestos son mezclados, se adiciona dentro de la caja de Banbury los diferentes ingredientes en las proporciones correspondientes.

Mediante la prueba de G.E (Gravedad específica), podemos saber si las cargas principales han sido adicionadas en las proporciones correspondientes cuando las fórmulas de los compuestos son mezclados en la caja de Banbury; estamos hablando principalmente del Negro de Humo y las cargas blancas.

La gravedad específica teórica de un compuesto de caucho puede ser determinado a partir de cálculos basados en los porcentajes de los materiales y la Grav.Espec.de cada uno de los ingredientes que han sido utilizados en la mezcla. Sirve de referencia para efectuar los controles.

Estos controles permiten separar compuestos No productivos que no están conformes antes de que sean usados en la siguiente operación ,es decir en la mezcla del compuesto Productivo.

Determinación de la Gravedad Específica

El Método que se utiliza actualmente es el denominado “Determinación de la Gravedad Específica (G.E.) por Soluciones Salinas” y está descrita a continuación.

Este método requiere la preparación de Soluciones Salinas a partir de una solución saturada de Cloruro de Sodio. Se obtiene soluciones con concentraciones,tales que al momento de chequearse, puedan tener una variación entre 1.02 a 1.30 de G.E., lo cual es comprobado con densímetros certificados y corregidos según sea el caso.Las soluciones preparadas pueden ser llevados al valor deseado; diluyendo la solución o aumentando la concentración de las mismas.

Para la determinación de la densidad desconocida de una muestra de caucho , se acondiciona en unos recipientes las soluciones salinas con densidad conocida, y en cada uno de ellos se hace caer la muestra, cuyo tamaño será menor de 1 mm ,se limpia con Alcohol para retirar el baño antiadherente que puede tener en la superficie y para vencer la tensión superficial al momento de ser introducido en la solución salina.

La muestra debe estar libre de burbujas en su interior,para ello se le presiona antes de ser introducido en la solución salina.

Cuando en una solución salina , la muestra permanece en la superficie ,deberá probarse en una solución salina de menor densidad a fin de observar si se precipita hacia el fondo, cuando esto ocurre en forma lenta, se afirma que la densidad está comprendido entre ambos valores.

Si en un caso , la muestra del compuesto de Caucho se hunde con rapidez , deberá probarse en una solución con mayor densidad hasta que la muestra se precipite moderadamente, en este momento se habrá determinado la densidad de la muestra.

Los resultados obtenidos son registrados en la correspondiente Hoja de Reporte Diario y servirán para posterior trazabilidad y control.

Cabe indicar que este método proporciona datos aproximados y muchas veces el lugar del cual se toma la muestra influye en los valores debido a la falta de uniformidad en toda la masa con la que se está trabajando.

Actualmente existen otros métodos, pero todos ellos utilizan la relación masa-volumen. Entre los nuevos equipos con que se cuenta está el denominado :Brabender Elastest.

4.- DETERMINACION DE CENIZAS

Este análisis permite determinar la cantidad de cargas minerales, incluyendo el Oxido de Zinc presente en la muestra de un Compuesto de Caucho.

Para determinar las cargas inorgánicas, 1 ó 2 gramos de muestra son quemadas en un crisol abierto colocado en una Muffla ,la cual es calentada progresivamente hasta conseguir temperaturas de 800-900 ° C y lograr un peso constante .

Normalmente se efectúa una extracción Acetónica de la muestra inicial por 4 horas, antes de transferirlo al Crisol de porcelana y ser calcinado.

En Cauchos duros, la extracción puede ser eliminada.

El calentamiento en la Muffla se hará de la siguiente forma :

Tiempo,minutos	5	10	15	70	75	80	85	145
Temperatura,°C.....	100	200	300	300	400	500	550	550

Se retira el crisol de la muffla,se enfría y pesa.

Cálculos :

El Porcentaje de cenizas se calcula como sigue:

$$\text{Cenizas} = \frac{\text{Peso de Cenizas}}{\text{Peso de muestra}} * 100$$

5.- EXTRACCION ACETONICA

Junto con la determinación de cenizas, la prueba de extracción acetónica es la prueba más usada. La Acetona disuelve completamente una serie de sustancias que pueden estar presentes en Compuestos de Caucho tales como : Resinas naturales contenidas en el caucho en sí, resinas adicionadas a la mezcla ,aceites, parafinas, ceras, grasas animales y vegetales , ésteres y éteres de celulosa, naftaleno, materia colorante orgánica, aceleradores orgánicos,antioxidantes y azufre que no está químicamente combinado (Azufre libre).

Los resultados son solo aproximados, desde que ,después de ocho horas de extracción las sustancias poco solubles no están completamente disueltas u otros ingredientes se subliman o evaporan.El contenido de la resina natural varía con el tipo de Caucho tratado. A pesar de todos sus defectos, el extracto acetónico nos proporciona información importante,especialmente conocer la proporción aproximada de ingredientes en la formulación. Un compuesto vulcanizado en el cual ingredientes solubles no han sido incorporados, tiene menos que 5% de extracto acetónico,si el valor es mayor es obvio que el compuesto de caucho contiene ingredientes solubles además de las resinas naturales .

El procedimiento seguido es

Una muestra de 2 gramos del Compuesto de caucho sin vulcanizar es colocado dentro de un papel de filtro en forma de dedal de tal forma que el envase formado con la muestra llene el tubo de vidrio con sifón,que a su vez será colgado de un serpentín metálico que cubrirá la boca ancha de un erlenmeyer de 400 ml, el cual contendrá 75 a 100 ml de acetona destilada. A travez del serpentín de metal circulará agua fría sirviendo como refrigerante .

La muestra deberá ser sometida a extracción continua por 16 horas. Cuando la extracción es completada, el extracto será trasvasado a un vaso de precipitación de 100 ml., previamente pesado, se agregará varias porciones de acetona al erlenmeyer para luego ser adicionado al extracto. El vaso con el extracto será colocado en una plancha calentada con vapor o en una superficie calentada eléctricamente a temperatura suficiente para que la Acetona se evapore.

Después de la evaporación,el vaso con el residuo será colocado en la estufa y secado a

una temperatura de 70°C por dos horas, enfriada en un desecador y luego pesada.

Cálculo :

$$\% \text{ Extracto Acetónico} = \frac{\text{Peso de extracto acetónico}}{\text{Peso de muestra}} * 100$$

6.- HINCHAMIENTO

El caucho se hincha cuando está en contacto con aceite, grasa y en general con cualquier líquido que actúe como un solvente para el caucho o compuesto de caucho.

Existen dos métodos disponibles para la determinación del hinchamiento del caucho vulcanizado. Uno de estos consiste en la medida directa de la expansión linear de la muestra introducida en el líquido a ser estudiado.

En el segundo método, la muestra es pesada antes y después del hinchamiento en un recipiente hermético tal que no permitirá la pérdida por evaporación del solvente absorbido por el caucho.

Si bien el segundo método es mucho más exacto que el primero, podría encontrarse un error sistemático ya que algunos de los ingredientes del compuesto de caucho pueden pasar a solución durante el hinchamiento. Este error puede ser corregido pesando la muestra después que se haya retirado por completo el solvente absorbido.

Esta prueba de Hinchamiento es importante efectuarlo cuando se trabaja con Compuestos de Caucho que han de estar en contacto con solventes a fin de determinar si el compuesto que estamos formulando es el que cumplirá los requisitos deseados.

7.- RHEOLOGIA

La Rheología es un término usado para describir la Mecánica de los Elastómeros .

Antes de tratar el tema del mecanismo de los Elastómeros, el término “Módulus” debe ser aclarado. En la industria del Caucho se utiliza comúnmente el término “Módulus” pero en realidad el término correcto debe ser “fuerza de tracción a una cierta extensión”(100 %,200% 300%).

En la rama de Ingeniería, el término “Módulus” tiene los significados

Fuerza aplicada(stress)

Módulus de Young (E) = -----

Desplazamiento resultante (strain)

Fuerza aplicada cortante (shear stress)

Módulus cortante (G) = -----

Desplazamiento resultante cortante (shear strain)

La prueba mecánica típica más simple que puede ser visualizada y que es llevada a cabo en un Control de Calidad rutinario en la Industria de llantas, es la prueba de la Tensión. En ésta, el espécimen de prueba es sometido a una fuerza de Tensión aplicada y el cambio resultante en la longitud es graficado en una hoja diseñada para tal efecto.

La fuerza aplicada (Stress) está definida como la fuerza por unidad del área transversal original y es medida en Megapascals (Mpa).El desplazamiento resultante (Strain) es definido como un cambio fraccional en la longitud .

Donde:

Desplazamiento (Strain) = $\frac{\Delta L}{L_0}$

L_0 = Es la longitud inicial

ΔL = Es el cambio fraccional en la longitud.

7.1.-Propiedades mecánicas dinámicas :

Los compuestos de Caucho son considerados materiales viscoelásticos y están inevitablemente sujetos a fuerzas mecánicas (stress) que ocasionan un desplazamiento resultante (strain). La Rheología es la rama de la mecánica que involucra a los materiales cuya respuesta de desplazamiento frente a la fuerza aplicada depende de la evolución de esta respuesta, del estado instantáneo de la fuerza aplicada, de la deformación y la rapidez de la deformación.

a).- Módulo Elástico (E') :

Como se mencionó anteriormente el compuesto de Caucho es un material Viscoelástico. La propiedad dinámica denominada Módulo Elástico, simbolizado por E' caracteriza el comportamiento elástico del Compuesto de Caucho, así como su habilidad de almacenar o transferir energía. Un término sinónimo para el Módulo elástico es Módulo almacenado. Si la muestra de Caucho fuera 100 % elástico (con comportamiento viscoso cero), se le podría trabajar indefinidamente y su temperatura no se incrementaría.

Se puede considerar el caso de una pelota super-resiliente como el ejemplo de un material con una alta elasticidad y un comportamiento viscoso pequeño. El componente elástico de esta pelota le permite almacenar energía cuando está sujeto a compresión y devolver dicha energía cuando retorna a su forma original. Cuando esta pelota es dejada caer desde una altura rebotará hasta alcanzar la altura desde la cual fue dejada caer; mientras cae hacia el suelo, la pelota absorbe y almacena la mayor parte de la energía de la caída y toda o casi toda la energía es devuelta al momento que la pelota retorna a su forma original.

En el laboratorio, el compuesto de Caucho del ejemplo tendría un alto Rebote y una baja generación de calor.

b).- Módulo viscoso (E'') :

El Módulo viscoso caracteriza la naturaleza viscosa del compuesto de Caucho. La Propiedad dinámica con la que está relacionada es el Módulo perdido., la cual a su vez nos indica

la habilidad del compuesto de Caucho de absorber la energía mecánica y convertirla en calor, esto es permitir la generación de calor en el compuesto. Si consideramos que la fuerza mecánica aplicada es convertida por el compuesto en energía calorífica y es además perdida como energía mecánica, se puede entender el término aplicado de Módulo perdido.

Podemos visualizar el Módulo perdido en una pelota con una composición tal que al momento de permitirle caer desde una altura, absorbe la energía de la caída y cuando choca contra el suelo la convierte en calor (y sonido), es decir que la energía es perdida como energía mecánica y no es devuelta por la pelota cuando recupera su forma original.

En el laboratorio, el compuesto de Caucho de la pelota tendría muy bajo Rebote y una generación de calor muy alta.

c).- Módulo complejo (E^*) :

Se ha dicho que un Compuesto práctico de Caucho es viscoelástico, esto es : no es 100% elástico ni 100% viscoso, sino una combinación de ambos . La aplicación final del compuesto dictamina cual de estos componentes puede ser lo más deseable y la composición del material debe ser tal que pueda minimizarse el componente indeseable mientras que se mantenga la propiedad deseable. El ejemplo de la pelota mencionada anteriormente representa ,tal vez, los extremos de un compuesto de material mezclado para obtener únicamente una propiedad.

La tercera propiedad dinámica principal (Módulo complejo : S^*) es una combinación matemática de los Módulo perdido y elástico de un compuesto. Para continuar con el ejemplo de la pelota podemos considerar una pelota hecha de una composición típica (la cual tendría los componentes de Módulo elástico y perdido) ,la cual rebotaría a una altura significativamente alta debido a su componente de Módulo elástico, pero no alcanzaría la altura máxima porque también posee un componente de Módulo perdido.

En el Laboratorio el compuesto utilizado en el ejemplo anterior tendría un Rebote y valores de generación de calor intermedios.

7.2.- Revisión de las propiedades básicas :

Cuando un Compuesto de Caucho es deformado por una fuerza externa , la fuerza por unidad de área es medida como el Módulo complejo (E^*). Una porción de esta fuerza es , en efecto, almacenada en la muestra deformada y es recuperada cuando la misma muestra retorna a su estado sin deformar, éste es el llamado Módulo elástico o almacenado (E'). Una porción de esta fuerza aplicada es absorbida por el compuesto ,produciendo un aumento en su temperatura. Esta porción de la fuerza aplicada es de este modo convertido de energía mecánica en energía calorífica y no puede ser recuperada, éste es el denominado Módulo perdido (E'').

7.3.- Propiedades dinámicas en Rheometría

Para el caso del Rheómetro MDR-2000 ,se puede considerar a un compuesto de caucho sujeto a un ciclo de fuerza aplicada-desplazamiento (Ver Fig.Nº 46 en la Pag.Nº 155), en este equipo se ha eliminado la fricción asociada con la oscilación del rotor ,la cual está presente en los modelos que utilizan el rotor y por lo tanto una medición efectiva de las propiedades dinámicas antes,durante y después de la vulcanización puede ser llevada a cabo.

La figura Nº 46 en la Pag.Nº 155 muestra las respuestas del torque viscoso (S'') ,torque elástico (S') y Torque complejo (S^*) frente a una fuerza aplicada sinusoidalmente.En el Rheómetro MDR-2000 el dado inferior oscila entre -0.5 y +0.5 grados de arco y aplica la fuerza de corte al espécimen. La línea punteada en la figura indica la respuesta de Torque complejo (Módulo de tensión complejo- S^*), cuya reacción es medida por el transductor del dado superior . En realidad el Torque complejo (S^*) no es usualmente reportado en los resultados del Rheómetro MDR-2000 sino que por medio de un sistema de procesamiento de una única señal y por medio de un programa de correlación matemática instalado en el microprocesador del equipo separa el Torque complejo (S^*) en los componentes Viscoso (S'') y Elástico (S'). Los puntos más altos de la fuerza aplicada y la respuesta del Módulo de Tensión complejo (S^*) ocurren a diferentes tiempos. Este retardo en la respuesta del Módulo de Tensión complejo (S^*)frente a la fuerza aplicada está dado por el ángulo de fase delta.

El Torque Elástico (S') está en fase con la curva de la fuerza aplicada. En la figura N° 46 en la Pag. N° 155 se observa que el punto máximo de la fuerza aplicada está en fase con el Torque elástico y cuando la Fuerza aplicada es igual a cero, el Torque Elástico también es cero.

Por otro lado, el Torque viscoso (S'') está 90 grados desfasado con la fuerza aplicada. Nuevamente podemos observar en la Figura N° 46 en la Pag. 155 que cuando la fuerza es aplicada y S' tiene un valor máximo, S'' está en su valor cero. De la misma manera cuando la fuerza es aplicada y S' es cero, el valor de S'' está en un valor máximo ó mínimo en la curva sinusoidal. Se sabe que el valor de S'' ó Torque viscoso está relacionado con las características de amortiguamiento de un compuesto de caucho.

Otro importante parámetro de prueba que se obtiene en el Rheómetro MDR-2000 es la tangente delta, la cual es obtenida con la relación entre S'' entre S' , tanto más pequeño el valor de Tangente delta para un compuesto vulcanizado, tanto más grande es su resiliencia. La Tangente delta está muy influenciado por el tipo de enlace cruzado y la densidad de enlazamientos. Los plastificantes pueden ser usados con gran efectividad para incrementar o disminuir el valor de este parámetro.

Los componentes S'' , S' y la tangente delta son características que describen el comportamiento de materiales poliméricos o Viscoelásticos.

Podemos mencionar como ejemplo, el hecho de que los valores del Torque Viscoso S'' son diferentes para una misma formulación que poseen diferentes tipos de Negro de Humo ó diferente tipo de Caucho.

Los valores relativos de S'' , S' y Tangente delta son diferentes para un material con alta elasticidad (tal como una banda elástica) versus un material con alta absorción de energía o alta viscosidad (tal como un absorbedor de golpes).

De este modo, el poder contar con cada uno de estos parámetros por separado, permite proporcionar a los usuarios una idea ó conocimientos valiosos sobre la naturaleza del material que está siendo probado.

X.- NORMAS DE CALIDAD

Las normas de Calidad consignan los parámetros de las características principales que deben cumplir los diferentes materiales que son producidos a nivel industrial. En algunos casos son entidades gubernamentales quienes las emiten pero en la mayoría son los mismos usuarios quienes, conforme a sus necesidades generan sus normas de calidad con el paso del tiempo.

El objetivo de las normas es poder especificar muy bien cada producto para que los usuarios cuenten con un producto más uniforme, por tal razón se efectúa revisiones periódicas y el fabricante ha de adecuar sus procesos y operaciones para obtener un producto que cumpla con los requerimientos de las normas establecidas.

XI.- CALIDAD EN LA ACTUALIDAD

Desde un tiempo atrás la Compañía Goodyear del Perú S.A. ha sufrido un cambio muy grande a nivel de toda la Compañía y en todos los niveles de la organización.

En el caso del Laboratorio Analítico, el cambio también se hizo evidente.

En el año 1990, la alta dirección desde Goodyear Akron decretó que para que la Compañía continúe siendo competitiva en el mercado de llantas en los años venideros se tenía que maximizar operaciones con mejoramientos continuos y lograr que la satisfacción de los clientes se convierta en una fuerza impulsora. Es entonces que se anunció que se introduciría a nivel de todas las Plantas de Goodyear: una Cultura de Calidad Total (TQC=Total Quality Culture).

Un ejemplo de estos cambios, lo tenemos en la industria japonesa, la que ha mostrado un mejoramiento continuo durante las últimas dos décadas, en las cuales realmente se han transformado desde tener una imagen de producir productos baratos y de tipo muy inferior, a ser fabricantes de clase mundial de productos de alta tecnología y calidad.

Hasta el momento en que se aceptó la nueva cultura, el término de Calidad estaba orientada principalmente hacia el producto, a detectar materiales defectuosos y separarlos o buscar culpables que hayan causado el material defectuoso, esto era evidente en la Planta de Goodyear

porque existían los puestos de Inspectores de Calidad quienes eran los encargados de verificar que cada etapa del proceso y cada material estuviese produciéndose dentro de lo que estaba especificado, estos Inspectores no eran aceptados de muy buena gana por el personal operario ó por los encargados de la fase productiva ya que eran considerados como los causantes de retrasar la producción al separar materiales defectuosos que no debían ser usados en la fabricación de las llantas.

En ese momento ,el personal del Laboratorio Analítico estaba compuesto por personas que habían sido operarios en el área de Producción, no tenían formación profesional y gran parte de sus conocimientos había sido adquirido por la práctica o la enseñanza del personal que ya tenía años trabajando en el Area.

No existía un compromiso total con la Calidad , si bien se efectuaba las pruebas establecidas en ese momento y se retenía materiales sospechosos como lo pedía el Control de Calidad tradicional ,el personal no estaba imbuído de la filosofía participativa como lo exige la Cultura de Calidad Total.

Por mucho tiempo se ha estado acostumbrado a considerar los elementos de Calidad de la manera siguiente

- La definición de calidad estaba orientada solamente al producto.
- Las prioridades de Calidad eran menos importantes que el costo, el cronograma y el volumen.
- Las decisiones estaban basadas en metas de corto plazo.
- El énfasis estaba en la detección de errores.
- Los errores eran entendidos como resultados de causas especiales (trabajadores cometiendo equivocaciones individuales).
- La responsabilidad de la Calidad dependía del Control de la Calidad o Seguridad en Control de calidad, Inspectores de Calidad y especialistas.
- Las tendencias de la cultura organizacional eran señalar con el dedo ,culpar y castigar a quienes tomaban riesgos.

- La cultura organizacional era jerárquica, burocrática y estática
- La solución de los problemas era tomada por aquellos que tenían autoridad, los que estaban en la parte superior de la pirámide organizacional.
- Con la Calidad tradicional se tomaba las decisiones basadas en corazonadas o en un análisis muy superficiales, lo que hacía que las verdaderas causas del problema no se descubrieran.

A principios de 1990, se anticipó una apertura gradual de la Economía; pero de ninguna manera se pensó que sería tan rápida, como en la práctica ocurrió, por otro lado a finales del mismo año se presentó un reto aún mayor para la Compañía: sobrevivir en una economía de libre competencia, lo que significaba competir no solo con Lima Caucho, sino contra las importaciones provenientes de otros países, es en este punto donde los principios de la cultura de Calidad Total comenzó a tomar mayor importancia para el personal que quedó en la Empresa y debía ser aplicado hacia el cliente externo e interno si nuestro objetivo era permanecer en el mercado nacional.

Este nuevo desafío implicaría adoptar nuevos conceptos en la dirección de la empresa, crear nuevos Sistemas, desarrollar nuevas estructuras; en síntesis cambiar nuestra manera de trabajar.

Sin embargo, la aplicación de esta filosofía tenía que efectuarse de arriba hacia abajo y es que la falta de involucramiento de la alta Gerencia en este proceso haría que todo esfuerzo sea estéril. Además, lograr el cambio de actitud no es nada fácil ya que la resistencia al cambio es inherente a la naturaleza humana; primero se tuvo que pasar por una etapa de "descongelamiento" cuya duración estuvo en función de: la motivación del personal, a la disposición de cada uno a cambiar y a la intensidad de los esfuerzos que se hizo por cambiar, todo esto por supuesto tomó tiempo. Actualmente se está tratando de hacer permanente el cambio pero hay que estar conciente que esto tomará tiempo.

Una forma de medir el avance en este cambio es el lograr que se trabaje en equipo dentro de la Empresa y caminar hacia objetivos comunes. Anteriormente el trabajo en las Organizacio -

”transformando las palabras en obras”.

Al tener como objetivo lo anteriormente dicho , se trabajó posteriormente en obtener la Certificación ISO 9000.A saber : “ISO” son las siglas en inglés de “Organización Internacional de Estandarización” y 9000 ,es el número que se le ha asignado a este conjunto de normas o estándares acordado internacionalmente.

Para que una empresa pueda lograr la certificación ISO 9000,deberá de desarrollar una serie de guías o cláusulas y cumplirlas dentro del enfoque de Sistemas de Calidad ,mejoramiento continuo y Calidad Total.

Una empresa que haya obtenido la acreditación ISO 9000 puede asegurar que tiene un Sistema Gerencial de Calidad documentado,implantado y mantenido.

El Sistema de Calidad ISO 9000 significa que la Empresa cuenta con los Procedimientos para realizar las diferentes operaciones en cada una de las áreas de la Empresa (Producción,Ventas, Finanzas, Compras, Almacén , Recursos humanos, Entrenamiento, etc.) y se constituye sobre el principio de prevención de errores (No conformidades) en todas las etapas del proceso. De esta manera ,se reduce el error, las acciones correctivas y las pérdidas ; se gana tiempo, recursos, materiales y se maximizan los beneficios.

Las normas ISO 9000 son consideradas como base para el desarrollo del proceso de CALIDAD TOTAL en una organización, cualquiera sea el giro de la misma.

El lograr obtener la acreditación ISO 9000 significaría :

- Dar confianza y satisfacción al cliente.
- Beneficios para la Empresa y la sociedad.
- Sentar las base para la Calidad Total y el mejoramiento continuo.
- Adaptarse a las exigencias cada vez mayores de los mercados globales.
- Poder lograr la apertura de los mercados internacionales
- Eficiencia y productividad.
- Control y reducción del desperdicio.
- Establecer los objetivos con respecto a la calidad y al costo.

- Lograr la calidad deseada a un costo mínimo.
- Optimizar la comunicación con el Cliente
- Planear y usar eficientemente los recursos humanos, técnicos y materiales.

Este sistema ha sido creado para ayudar a las Empresas a mejorar la Calidad y por lo tanto su competitividad.

Goodyear del Perú ha obtenido la acreditación ISO 9000 efectuada por la Lloyd's Register Quality Assurance (Entidad de Acreditación autorizada a nivel mundial) y por lo tanto ahora Goodyear aspira a esforzarse continuamente para ser el líder en el mercado nacional y a nivel corporativo ser el líder mundial en la fabricación de llantas..

XII- RESUMEN

En el informe que se presenta se ha tratado los principales puntos que se refieren a la fabricación de las llantas desde el punto de vista del Laboratorio Analítico.

Se ha iniciado el trabajo mencionando los diferentes materiales que son usados en los compuestos de Caucho, éstos son muy variados y de diferentes clases ,los cuales son recepcionados en el Laboratorio Analítico con la finalidad de someterlos a diferentes pruebas fisico-químicos establecidos en las Especificaciones de Compra del material respectivo ,siguiendo los Métodos de pruebas estandarizados.

Las materias primas que cumplen con la Especificación de compra son utilizadas en la preparación del compuesto de Caucho al ser mezcladas en el Banbury , después de esta mezcla, los paños del material son apilados en su respectivo lugar.

Estos paños son muestreados y enviados al Laboratorio Analítico para ser chequeados en el Rheómetro a fin de conseguir las curvas de Vulcanización de cada batch ,de requerirse se realizan pruebas físicas adicionales , las cuales permitirán separar el batch defectuoso del proceso productivo.

El batch correcto es usado en las operaciones productivas posteriores a la mezcla,tal como es el Calandreo, Extrusión, Corte de bandas, Construcción de llantas y principalmente en el

proceso de la Vulcanización de las llantas en Prensas, donde se obtienen los diferentes tipos de llantas. En el trabajo se describe los diferentes tipos de Llantas que son obtenidos en las Prensas de vulcanización, entre las cuales se tienen las Llantas de Auto, Camioneta y Camión.

Luego se continúa con la descripción de las diferentes partes de la estructura de una llanta, mencionando la forma de obtención, las características y la ubicación dentro de la misma. Entre las partes de la estructura se tienen: el Rodado, carcasa, costado, pestañas entre otros.

Al desarrollarse la labor profesional en el Laboratorio Analítico, se ha tenido la posibilidad de mencionar y describir los principales Equipos que son usados en el Laboratorio, lo que permite conocer el funcionamiento de los mismos y comprender su importancia dentro de la ejecución de las pruebas físicas. El lector puede tener una idea de la apariencia de los Equipos usados en el Laboratorio con ayuda de Figuras, ya que en muchas ocasiones no es fácil tener acceso a Empresas que las poseen.

Después de tener una información amplia sobre la Industria de la Llanta, se procede a describir en detalle el proceso de vulcanización, el cual es muy importante dentro de la Compañía. En este capítulo, se conocerá las teorías existentes respecto a este proceso, su influencia dentro de las características de un compuesto de Caucho vulcanizado, la manera de interpretar los diferentes parámetros que son obtenidos en la Curva de Vulcanización, permitiendo decidir si un batch será separado o no del proceso productivo.

A continuación se mencionan los Métodos de Análisis en forma resumida, a fin de que se conozca la fuente principal de la manera y condiciones a las cuales se deberán llevar a cabo las pruebas, no solo en nuestro Laboratorio, sino en cualquier otro, con el único objeto de que los resultados obtenidos en todos ellos sean comparables y bien interpretados por cualquier técnico o profesional relacionado con la Industria de las Llantas. También se adjunta Figuras relacionadas con los capítulos para que ayuden a visualizar mejor los temas al lector.

Se espera que este pequeño aporte ayude al lector para que conozca algo de la Industria de la Llantas visualizado desde el Laboratorio de una de las empresas líderes en su ramo, como es la Compañía GOODYEAR del PERU S.A.

XIII.- CONCLUSIONES

La labor desarrollada en el Laboratorio dentro de una Fábrica de manufactura, sea cual fuere el producto final tiene una gran importancia, que muchas veces no es muy bien comprendida por el Area de Producción, pero su posición será respetada cuando muestre resultados.

La responsabilidad de efectuar las pruebas fisico-químicas siguiendo las Instrucciones establecidas y llevandolas a cabo con total honestidad, es vital para la toma de decisiones en los diferentes puntos dentro del proceso productivo.

El seguimiento que se efectúa de los resultados obtenidos en el Laboratorio, mediante los Gáficos de Control es una necesidad para lograr tener bajo control los parámetros que influyen dentro del proceso productivo. Se debe contar con las herramientas que la Estadística nos brinda.

Cuando se tiene parámetros fuera de Control, la formación de grupos de Trabajo que involucren a personal de las diferentes Areas de Producción ayuda a que cada uno de ellos aporte sus conocimientos que permitirán encontrar la causa de los defectos presentados y elaborar los planes de acción correctivos, donde cada integrante del grupo será responsable de que se lleven a cabo, a fin de lograr mantener a los parámetros bajo Control.

El mantenimiento preventivo/correctivo y el cumplimiento de la calibración de los Equipos e Instrumentos dentro del Laboratorio es fundamental para poder estar seguros que los resultados obtenidos son correctos y confiables. El seguimiento de este punto debe ser continuo.

Contar con los Documentos actualizados, disponibles, ordenados y debidamente autorizados es un punto que no solo el Laboratorio debe cumplir sino, cualquier otra Area dentro del Proceso productivo, esto es fundamental para que se efectúe la TRAZABILIDAD del producto cuando sea requerido.

Y finalmente el Entrenamiento del personal también es parte importante de la actual Cultura de Calidad total, para ello el Dpto. encargado ha de preocuparse por brindar capacitación continua al personal, lo que redundará en una mayor seguridad y compromiso con la labor que se está desarrollando, éste es un punto que tampoco ha de descuidarse.

XIV.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Coran,A.Y. - **“Science and Technology of Rubber”**,Monsanto Industrial Chemical Company, Akron-Ohio
- 2.- Daniell,A.E. - **“Carbon Black-A brief description”** - Ashland Chemicals Company Company.Division of Ashland Oil,Inc.- Folleto técnico.
- 3.- Di Mauro ,Patrick J. & De Ruder, J. & Etienne ,J.P.-**“New Rheometer and Mooney Technology”** - Monsanto Company (Europa) - Pag.1 al 4
- 4.- Dick, John S.- **“Optimal measurement ,use of dynamic properties from the MDR for compound Analysis “**- Folleto de Monsanto Instruments & Equipment-Enero '94
- 5.- Goodyear Perú S.A. - **“Así se hace una llanta”**- Publicación del Dpto.de Relaciones Públicas- Febrero 1986,Pag. 4 al 7 y 9.
- 6.- Hertz, D. L. Jr - **“ Designing with Elastomers “**- Contenido en **“Textbook for Intermediate Course”** - Editado por H.L. Stephens -Rubber Division American Chemical Society - Department of Polymer Science of theUniversity of Akron.
- 7.- Lewis,P.M. - **“Vulcanizate structure and its effects on properties”**-Contenido en **“NR Technology”**-Vol.17 Part 4 ,1986 - Publicado por **“The Malasyan Rubber Producer Research Association”**-Inglaterra. Pag.57 al 65.
- 8.- Monsanto Company -**“Manual de Operación del Rheómetro”**- Pag. 6 a 9
- 9.- Patel,A.C. y Brown, W.A. - **“Carbon Black”**- Carbon Black Division - Ashland Chemical Company,Columbus ,Akron. Pag. 1 al 9 -Folleto Técnico.
- 10.- Rader,Charles P. - **“Vulcanization”** -Monsanto Industrial Chem.Co.,Akron Ohio, Pag. 1 al 7 y 15.
- 11.- Sholley ,Charlene -Rubber & Plastics News- **“Using Rheometer to stablish quality Control in Production”**- Número 30 (Setiembre 1981). Pag. 1 al 4.
- 12.- Stephens, H.L. - **“Elastomers”**- Department of Polymer Science ,Akron Ohio, Pag. 24 a 30

- 13.- Stewart, E. Jack - **“Factory Applications involving Carbon Black”**- Ashland Chemicals Company .Division of Ashland Oil,Inc..-Folleto Técnico.
- 14.- Vanderbilt, R.T. Company Inc.- **“Rubber Handbook”** - Editor: Robert O.Babbit- Julio 1978 - Pag.546-549
- 15.- **“Analysis and Test for latex and Rubber”**- Capítulo 13- Pag.347 a 354.-Folleto técnico.
- 16.- **“Rubber from natural or Syntethic Sources-Viscosity and Vulcanization characteristics (Mooney Viscometer)”**- Método ASTM D6146-74 - Pag. 402 al 407.
- 17.- **“Measurement of curing characteristics with the Oscillating Disk Cure Meter”** Método ASTM D2084-71T - Pag. 927 al 935

XV.- APENDICE**a).- Abreviaturas**

nm = nano metro = (10^{-9}) mil millonésima parte

RHC = Composición por cien partes de Caucho
(Rubber Hundred Composition)

Fig. = Figura

Rib = Nervadura

Crossrib = Nervadura cruzada

PA= Pliegos aparentes

PR = Pliegos reales

AC = Corriente alterna

DC = Corriente continua

PRI = Índice de Retención de Plasticidad
(Plasticity Retention Index)

IRB = Negro de Humo referencial
(Industrial Reference Black)

IIR = Copolímero de Isobutileno-Isopreno
(Isobutylene Isoprene Copolymer)

SBR = Copolímero de Estireno-Butadieno)
(Styrene Butadiene Copolymer)

NBR = Copolímero de Acrilonitrilo y Butadieno
(Polímero de Acrilonitrilo Butadieno)

BR = Polímero de Polibutadieno
(Polybutadiene Polymer)

ISO = International Standarization Organization

lb-pulg = Libra pulgada

STD = Standard

mm = milímetros

ML = Rotor Mooney grande

ML = Rotor Mooney chico

ASTM = Manual de Pruebas

Standard Americanos
(American Std. Testing Manual)

Pulg/min = Pulgadas por minuto

NBS = National Bureau Standard

lbf. = Librafuerza

dN-m = Deci newton metro

CR = Polímero de Cloropreno
(Chloroprene Polymer)

IR = Caucho de Isopreno
(Isoprene Rubber)

BR =Polímero de Polibutadieno
(Polybutadiene Polymer)

NR = Caucho Natural
(Natural Rubber)

b).- CUADROS

	Pag.
I.- Características principales del Caucho Natural	110
II.- Características de Cauchos Sintéticos	111
III.- Tipos de Negro de Humo	112
IV.- Velocidad relativa de actividad del Acelerador	113
V.- Clasificación química de Aceleradores	114
VI.- Características del Alambre de Pestaña	115
VII.- Características de Telas en la Industria de las llantas	116
VIII.- Estructuras de Elastómeros NR/BR/SBR	117
IX.- Formulaciones típicas - Cauchos	118
X.- Cuadro con propiedades físicas de fórmulas y/o Cauchos	119
XI.- Preparación de muestras-Viscosímetro.	120

CUADRO I

Características principales del CAUCHO NATURAL

	SMR-20	SMR-5
APARIENCIA	Bloques limpios,secos de color claros a oscuros	Bloques limpios,secos de color claros a marrones apagados.
IMPUREZAS	0.20 % máx.	0.05 % máx.
CENIZAS	1.00 % máx.	0.60 % máx.
MATERIAL VOLATIL	0.80 % máx.	0.80 % máx.
CONTENIDO Nitrógeno	0.60 % máx.	0.60 % máx.
PLASTICIDAD (Wallace) Valor inicial	30 mín.	30 mín.
INDICE DE RETENSION de PLASTICIDAD	40 % mín.	60 % mín.

NOTAS :

- SMR = Standard Malasian Rubber (Caucho standarizado de Malasia)
- La nomenclatura de los Cauchos puede ser diferente ,dependiendo del lugar de origen y la forma en que se ha procesado.

CUADRO II

Características de CAUCHOS SINTETICOS

	SBR-1712	SBR-1502
Copolímeros de Butadieno-Estireno		
APARIENCIA :	Bloques de color marrón oscuro	Bloques de color blanco apagado
MATERIA VOLATIL :	0.5 % máx.	0.5 % máx.
VISCOSIDAD MOONEY : (ML 1 + 4 @ 100 °C)	52 +/- 5.0	50 +/- 3.0
AUTOGRAFICA :		
Módulus @ 300 % Mpa	6.8 +/- 1.4	15.7 +/- 2.5
Tensión , Mpa	18.3 mín.	26.0 mín.
Elongación, %	540 mín.	475 mín.
	RHC	RHC
Fórmula de prueba :	Polímero	100.00
	IRB#6	50.00
		1.75
	Oxido de Zinc	3.00
	Acido Estearico	1.00
	Santocure NS	1.38

RHC: Rubber Hundred Composition

Nota : Todos los ingredientes deben ser grado NBS y mezclados de acuerdo al Método ASTM D-3184

CUADRO III
Tipos de NEGRO DE HUMO

Negro de Humo reforzante	Tamaño de partículas (nm)
SAF = Super Abrasion Furnace	19 - 22
ISAF = Intermediate Super Abrasion Furnace	23 - 26
HAF = High Abrasion Furnace	26 - 35
 Negro de Humo semi-reforzantes	
FEF = Fast Extruding Furnace	45 - 53
GPF = General Purpose Furnace	53 - 63
SRF = Semi-Reinforcing Furnace	63 - 95

CUADRO IV**Velocidad relativa de actividad del ACELERADOR**

Tipo de Velocidad	Tiempo relativo de vulcanización @ 120° C	Ejemplo
Lento	90 a 120 minutos	Anilina
Moderadamente rápido	Casi 60 minutos	Guanidina
Rápido	Casi 30 minutos	Thiazoles/Disulfides
Ultra-rápido	Varios minutos	Thiurams/Ditiocarbamatos Xantatos

CUADRO V

Clasificación química de ACELERADORES

Tipo de Aceleradores	Tiempo de Vulcanización	Actividad Química
Anilina	90-120 minutos	Lento
Guanidinas	60 minutos	Moderadamente rápido
Tiazoles/Disulfuros	30 minutos	Rápidos
Ditiocarbamatos	Pocos minutos	Ultra rápido

USO

Aldehidos-Aminas	Adhesivos
Aminas	Acción retardante en NR (Caucho Natural)
Guanidinas	Acelerante secundario
Tio-úreas	Vulcanización rápida con Cloroprenos
Tiazoles	Uso general
Tiurams	Vulcanización rápida
Sulfenamidas	Acción retardante
Ditiocarbamatos	Usado a baja temperatura
Xantatos	Vulcanización a baja temperatura (Sistemas que usan Latex)

CUADRO VI**Características del ALAMBRE de pestafía**

Descripción :	Alambre de ACERO DE ALTA TENSION	
Diámetro	0.940 - 0.990	mm
Resistencia a la tracción :	1530 - 1760	Newtons
Contenido de Bronce	0.3 - 0.7	g/Kg de Alambre.
Adhesión a Goma STD.	535	Newtons como mínimo
Elongación final	5.3 %	mínimo
Punto de Fluencia	1200 - 1500	Newtons

Ref.: Bead Wire Specification Rev.03 (11/03/89)
Plant Tokusen Kogyo Osaka, Japón

CUADRO VII

Características de Telas en la Industria de las Llantas

Resistencia a la ruptura	30 - 100 lbf.
“Lase” a x % de Elongación	15 - 33 lbf. (*)
Adhesión a Goma STD.	25 - 30 lbf.
Calibre	0.026" - 0.032"
Contenido de Humedad	2.5 % Máx.

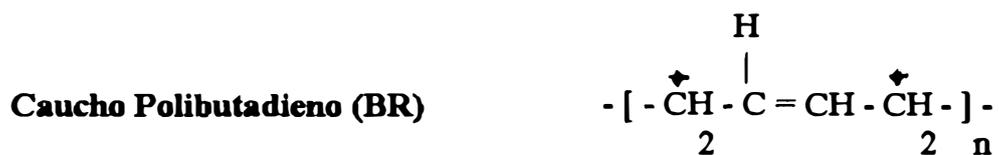
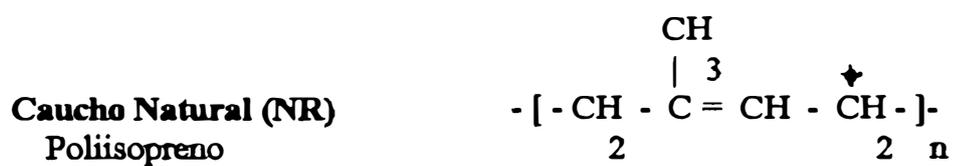
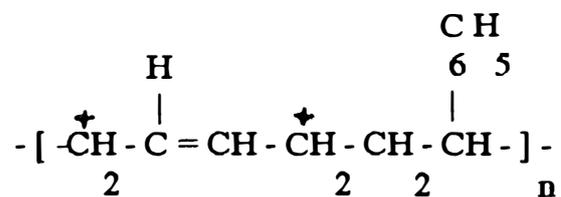
Otras CARACTERISTICAS**Construcción**

Denier de hilos	470 - 2100
Hebras en el cordón	2 - 3
EPI (Cordones por pulg.lineal)	16 - 33
Peso de Tela por Area	0.140 - 0.420 Kg/m ²

Ref.: Hojas de Características de Telas de las Fábricas de Neumáticos.

(*) Esta característica es referida al valor de la resistencia del Material para una elongación específica.

CUADRO VIII

Estructuras de Elastómeros
NR/BR/SBR**Caucho de Estireno-Butadieno (SBR)**

CUADRO IX

FORMULACIONES TIPICAS - Cauchos

Caucho Butadieno		Caucho Estireno-Butadieno	
	Rhc		Rhc
BUD1207	100.00	SBR1502	100.00
IRB-6	60.00	IRB-6	50.00
Aceite Nafténico	15.00	Oxido de Zinc	3.00
Oxido de Zinc	3.00	Acido Estearico	1.00
Acido Estearico	2.00	Azufre	1.75
Azufre	1.50	Santocure NS	1.00
Santocure NS	0.90		
Total	182.40	Total	156.75

Caucho Natural

Caucho Natural	100.00
IRB #6	50.00
Azufre	2.50
Oxido de Zinc	5.00
Acido Estearico	3.00
Santocure NS	0.60
Total :	161.10

Rhc = Rubber hundred composition.

CUADRO X

Cuadro con propiedades físicas
de fórmulas y/o Caucho

	Viscosidad Mooney	Módulus @ 300 %	Tensión final	Elongación final
	(ML 1 + 4' a 100°C)	(MPa)	(MPa)	(%)
	mín - máx	mín - máx	mín	mín
Butadieno	50 - 60	8.1 - 11.3	13.9	370
Estireno-Butadieno	49 - 55	6.93 - 10.33	18.3	540
	Material Contaminante	Cenizas	Indice de retención de Plasticidad	
	(%)	(%)	(PRI)	
	máx.	máx.	mín.	
Caucho Natural	0.20	1.00	50.0	

CUADRO XI
Preparación de muestras - Viscosímetro

METODO ASTM-D1648

Tipo de Caucho	Tamaño de muestra	Método de preparación
1.- IIR	Muestra tomada del Bloque	Se corta las piezas directamente del Bloque de Caucho, a fin de obtener un peso total de 27 +/- 3 gr.
2.- SBR/NBR CR/BR/IR	Peso de la muestra 250 gr +/- 2.5 gr.	<p>Acondicionar la muestra hasta que alcance la Temperatura ambiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pasar la muestra diez veces entre los rodillos del molino conforme a los requerimientos del Método ASTM D318 - Temperatura de los rodillos :50° +/-5°C - y distancia entre rodillos: 1.4 mm +/-0.1 - En la pasada 2 a 9 doblar la muestra Sobre si mismo. - NO permitir descarsar entre pasadas, ni hacer banda en los rodillos. - Cortar dos piezas que en conjunto pesen 27 gr +/- 3 gr. - Permitir a la muestra reposar durante 30 minutos antes de tomar la viscosidad
3.- NR	Peso de la muestra inicial : 300 +/- 3 gr	<p>-Efectuar la preparación de la muestra de la misma forma que en el caso antes indicados.</p> <p>-Sólo variará la separación entre los rodillos : 2.5 +/- 0.1 mm y la temperatura de los mismos es : 70 +/- 5 C</p>
4.- Compuestos de caucho y materiales regenerados.	Muestras con 6 mm	-Efectuar la preparación de la muestra de acuerdo al Item 1

c).- FIGURAS

	Pag.
1.- Proceso de fabricación de una llanta	123
2.- Reactor general del Negro de Humo	124
3.- Tamaño de partícula /Area Superficial	124
4.- Materia Prima	125
5.- Apilamiento de Compuesto	125
6.- Zona de Calandria	126
7.- Zona de Pestaña	126
8.- Zona de Spadone	127
9.- Construcción de llantas	127
10.- Zona de pintado de llantas	128
11.- Zona de Prensas-Vulcanizado	128
12.- Zona de Inspección final	129
13.- Llantas de Auto/Camioneta/Camión	129
14.- Llantana de Camión/Secciones de llanta	130
15.- Estructura de la llanta	131
16.- Llantana de Auto-Corte transversal	132
17.- Llantana de Camión- Corte transversal	133
18.- Autoclave	134
19.- Molino de Laboratorio	134
20.- Tensiómetro -Instron	135
21.- Prensa Hidráulica	135
22.- Viscosímetro Mooney	136
23.- Autográfica	136
24.- Gráficos obtenidos en el Viscosímetro Mooney	137
25.- Gráficos obtenidos en la Máq. Autográfica.	138
26.- Rheómetro R-100	139
27.- Rheómetro MDR-2000	139
28.- Parte mecánica del Rheómetro 100	140
29.- Datos y rotor del Viscosímetro Mooney	141
30.- Datos y rotor del Rheómetro de disco Oscilante	141
31.- Diagrama esquemático del Rheómetro MDR-2000	142

c).- FIGURAS (Continuación)

	Pag.
32.- Tres fases de la Curva Rheométrica	143
33.- Curva Rheométrica	144
34.- Cambios en la concentración del Acelerador y efecto en la Curva Rheométrica	145
35.- Variación en el Compuesto-Negro de Humo en SBR	146
36.- Curva de Vulcanización-Estudio efecto Azufre-Acelerador	147
37.- Curva elástica S' y viscosa S'' obtenida en el MDR-2000	148
38.- Influencia del contenido CIS en las propiedades Viscoelásticas	149
39.- Influencia del tipo de Negro de Humo en las propiedades Viscoelásticas.	150
40.- Vulcanización de Cadenas de Polímeros.	151
41.- Características estructurales de la RED vulcanizada	152
42.- Grados de libertad - Molécula cíclica	153
43.- Grados de libertad - Molécula lineal	153
44.- Átomos bivalentes o Radicales	154
45.- Ligaduras cruzadas tipo puente	154
46.- Torques resultantes por una fuerza sinusoidal-MDR-2000	155

FIGURA 1.- Proceso de Fabricación de una Llanta

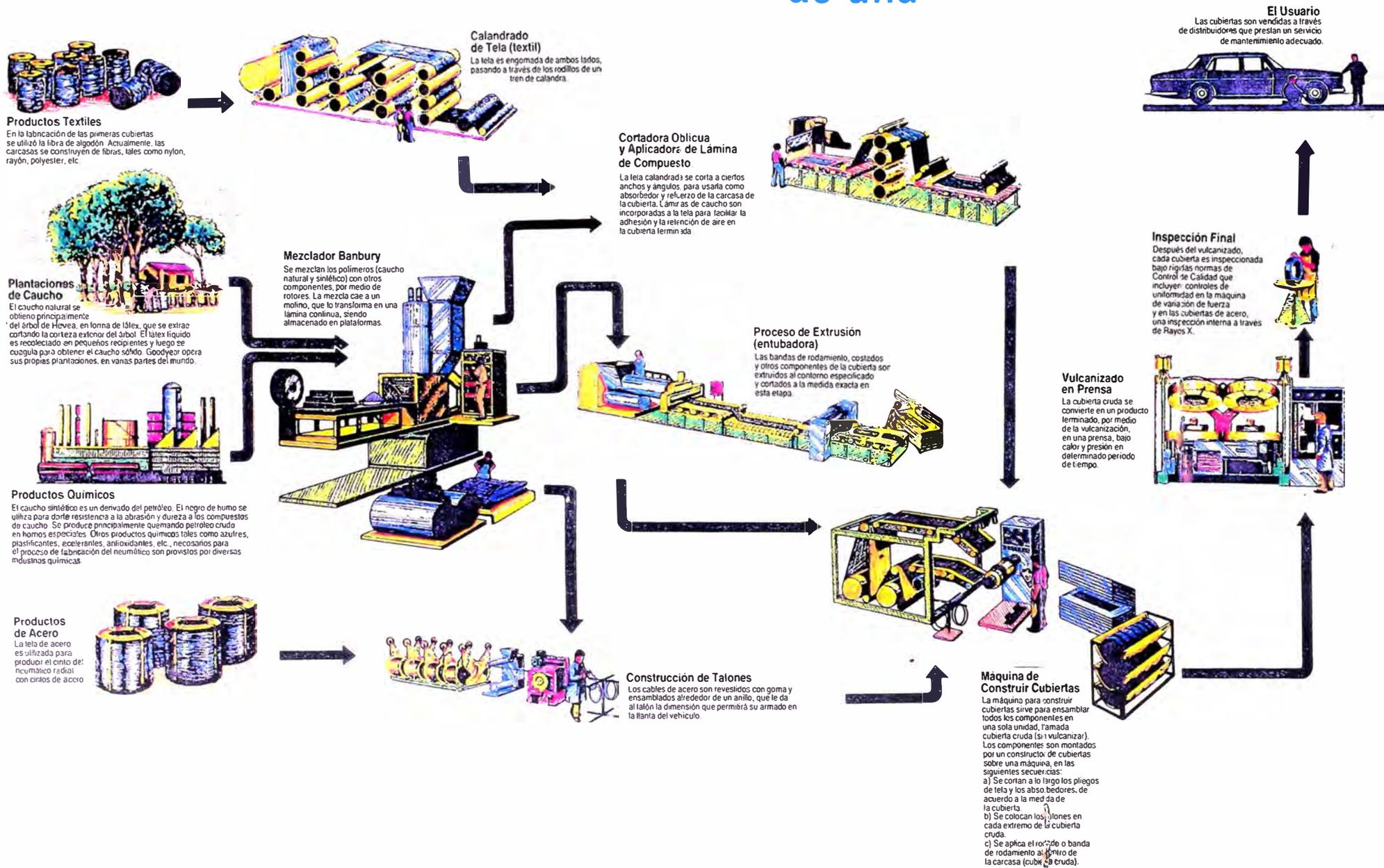


Figura 2.- REACTOR GENERAL DEL NEGRO DE HUMO

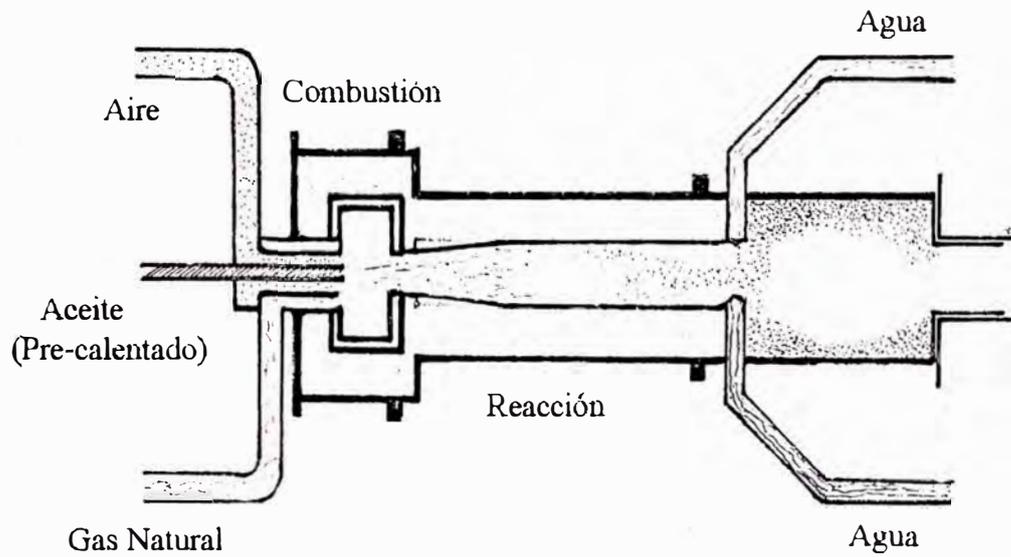


Figura 3.- TAMAÑO DE PARTICULA/AREA SUPERFICIAL



Tamaño de partícula = Tamaño de partícula

Area Superficial > Area Superficial

Número de Iodo > Número de Iodo

Figura 4.- MATERIA PRIMA

Las materias primas utilizadas en la fabricación de llantas están constituidas por Caucho, Negro de Humo, Azufre y otros materiales los cuales son mezclados juntos en el Banbury para producir el Compuesto de Caucho. Las cantidades adecuadas están fijadas en la formulación para cada compuesto y dependen del trabajo que desarrollarán en la Llanta.

Figura 5.- APILAMIENTO de COMPUESTO

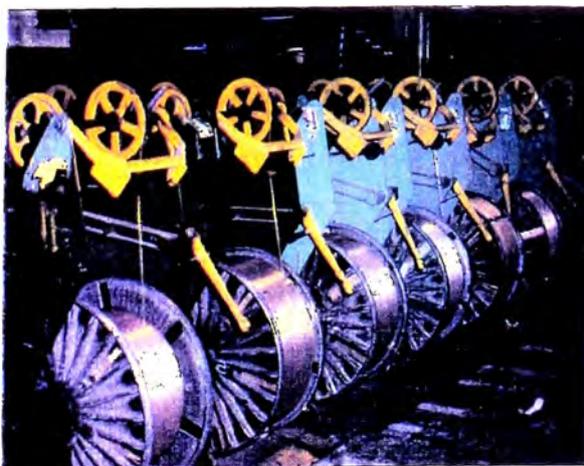
Después de haber sido incorporado las diferentes materias primas en el Banbury se obtiene el Compuesto de Caucho parcialmente mezclado. En un Molino se termina de uniformizar la mezcla, es sacado en láminas delgadas, enfriado con una mezcla de agua y antiadherente para luego ser apilados sobre plataformas metálicas permitiendo el almacenamiento y posterior uso.

Figura 6.- ZONA de CALANDRIA



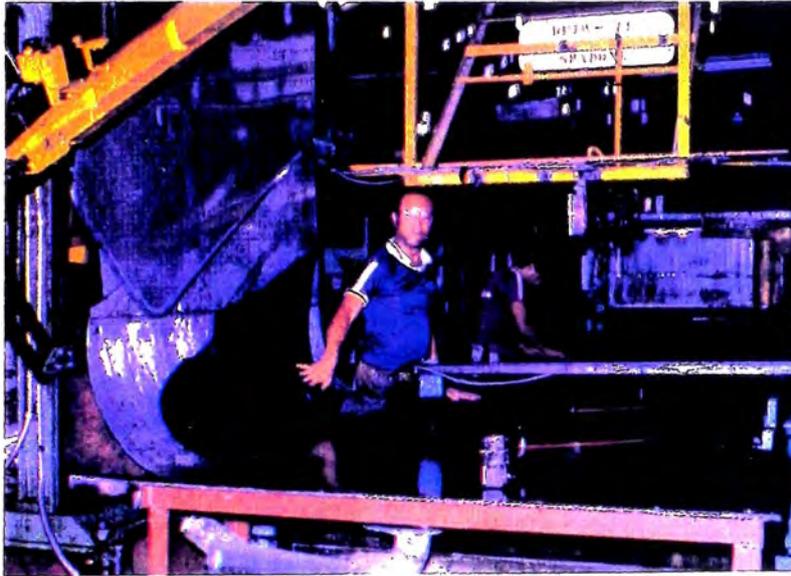
En el Equipo denominado Calandria, la tela y el correcto compuesto de Caucho proveniente de un rodillo calentador son unidos de tal manera de conformar el Tratamiento. Un juego de rodillos presionan el Caucho alrededor de los cordones de la tela para producir un material recubierto con goma. Se debe asegurar un calibre uniforme todo el tiempo. Esto permite obtener una carcasa fuerte y resistente a los baches, clavos y otros riesgos del camino.

Figura 7.- ZONA de PESTAÑA



El trabajo de las pestañas es asegurar la llanta al aro de la rueda del vehículo. Alambres de acero son recubiertos con goma y cortados en la longitud necesaria para luego formar un círculo y mantener los extremos unidos mediante una cinta adhesiva especial; la fuerza necesaria de la pestaña está dada por el número de vueltas que se da a los alambres.

Figura 8.- ZONA de SPADONE



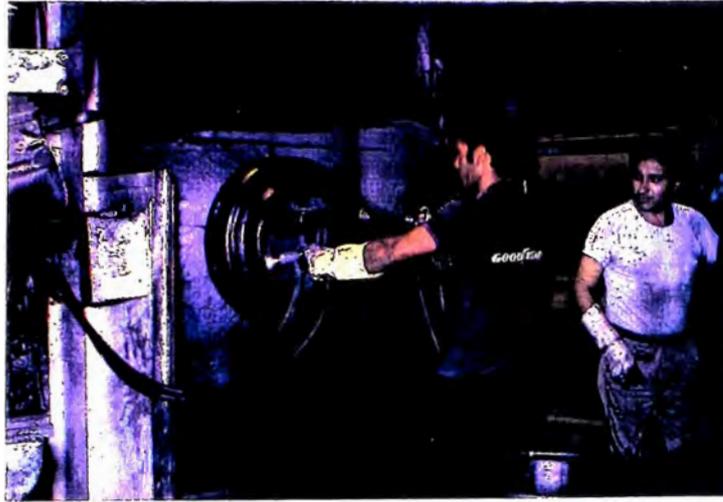
Los tratamientos obtenidos en la Calandria son enviados a la zona del “Spadone”, lugar donde son cortados con un determinado ángulo para construirse los denominados pliegos, los cuales son utilizados en la Construcción de las llantas para automóvil o para la confección de bandas , los que sirven para la construcción de llantas de Camión.

Figura 9.- CONSTRUCCION de LLANTAS



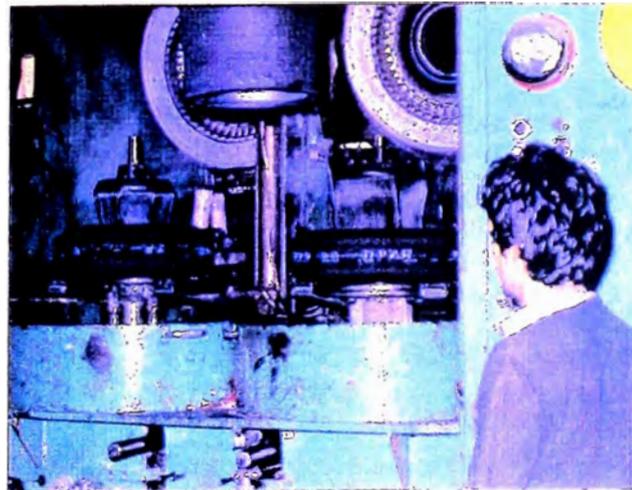
Los diferentes componentes son enviados a la zona de la Máquina de Construcción donde juntos han de formar una unidad. Se coloca los pliegos alrededor de un tambor rotativo. Cuando se trata de una llanta de Camión se coloca las Bandas. Las pestafias son envueltas por la banda. Luego se coloca el rodado y costado donde sea necesario. La adhesión en verde de los materiales permiten efectuar esta labor.

Figura 10.- ZONA de PINTADO LLANTAS



Después de ser obtenidos en la Máquina de construcción, las llantas son llevados a la zona de pintado, lugar donde se aplica una suspensión líquida de materiales antiadherentes tanto en la parte interna como externa de la llanta, lo cual evitará que la llanta no se adhiera a los Moldes al momento de la Vulcanización.

Figura 11.- ZONA de PRENSAS-Vulcanización



En las Prensas de Vulcanización ,las llantas verdes son sujetadas en los cargadores de llantas para luego ser introducidas en unos "bladders" que serán inflados con vapor, una vez que los platos de la prensa son cerrados para darle la forma final. La prensa tiene platos superior e inferior unidos en un punto, en los cuales se tienen los moldes con el diseño final de la llanta.

Figura 12.- ZONA de INSPECCION FINAL

La Inspección final de la llanta es la etapa final de una serie de controles de conformidad llevadas a cabo en cada fase de la llanta, si alguna irregularidad es encontrada durante esta inspección, la llanta es separada. La seguridad del consumidor por obtener un producto sin fallas debe ser satisfecho.

Figura 13.- LLANTAS de Auto/Camioneta/Camión

Después de todos los pasos seguidos mencionados anteriormente se obtiene la llanta como producto final, la figura mostrada es solo un modelo de la gran variedad de diseños y medidas que se producen, todos ellos han sido elaborados para soportar las características de las carreteras de nuestro país y satisfacer las necesidades del usuario.

Figura 14.- Llanta de Camión/Secciones de LLanta



Llanta de Camión



Secciones de Llanta

Figura 15.- ESTRUCTURA de la LLANTA

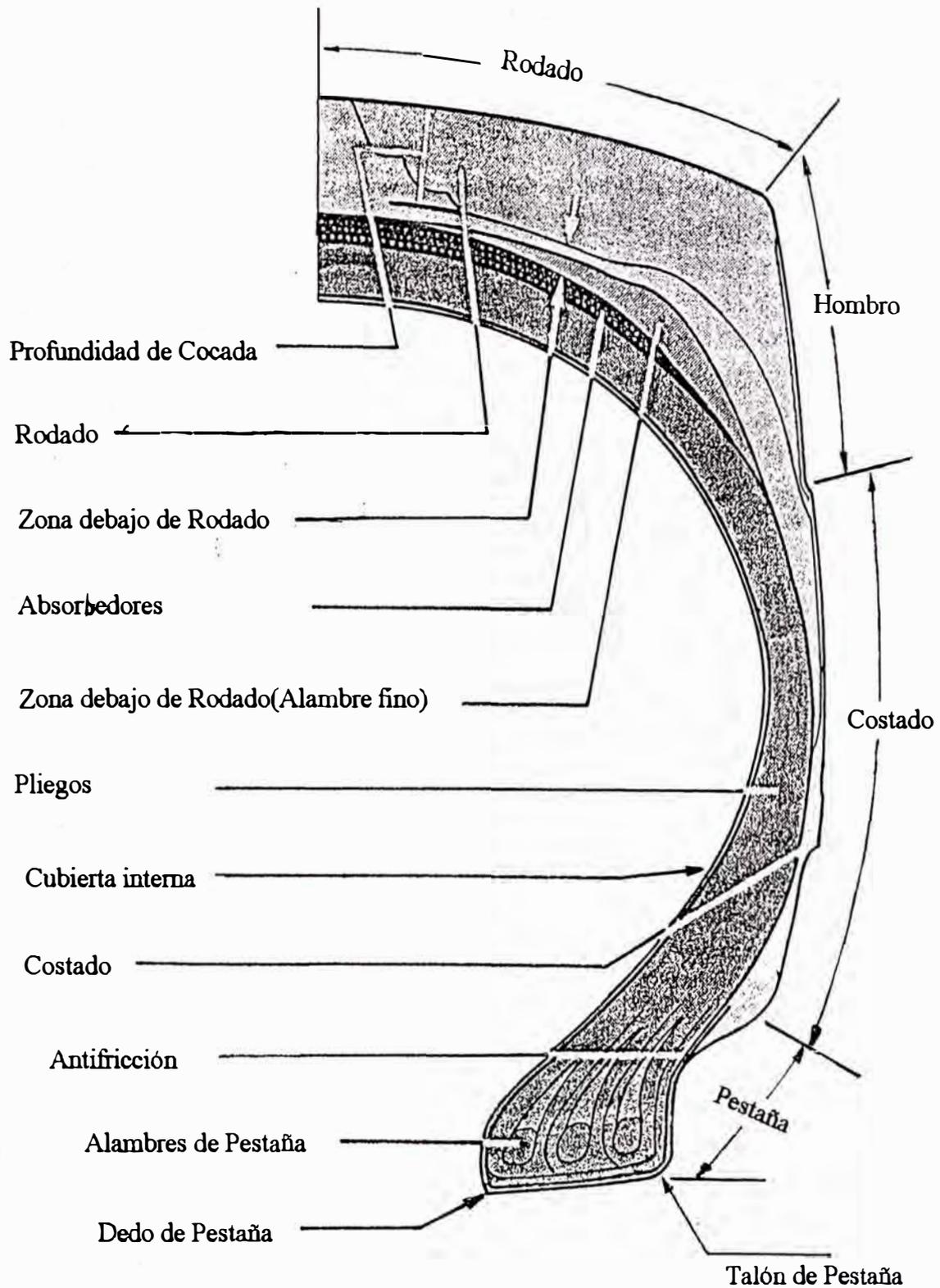
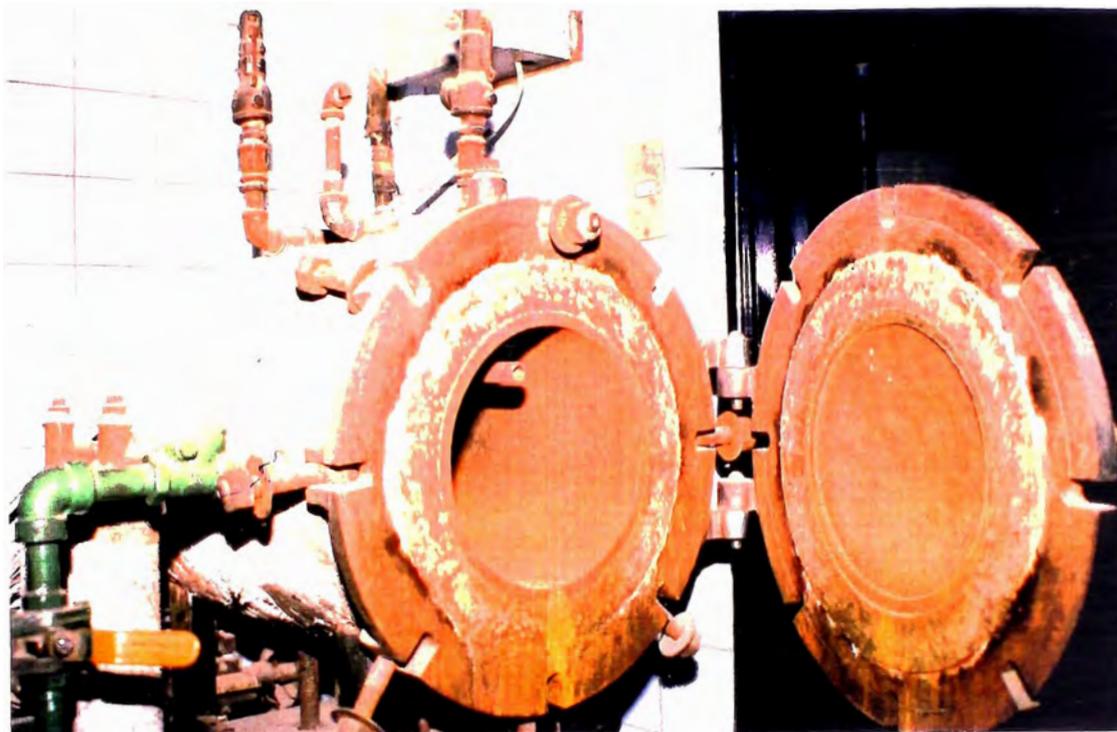


Figura 16.- LLANTA de AUTO

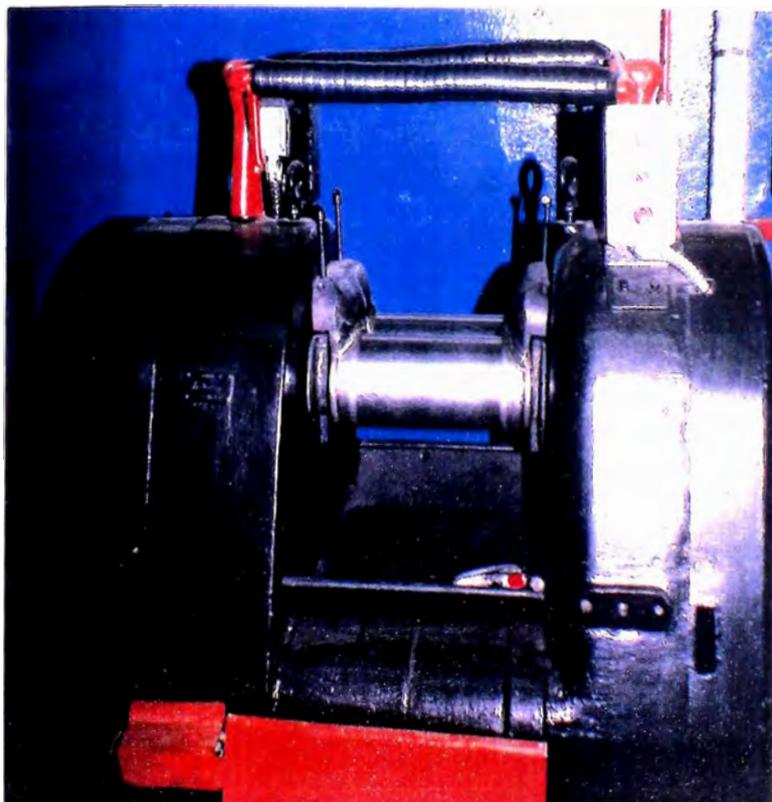


Figura 17.- LLANTA de CAMION



Figura 18.- Autoclave

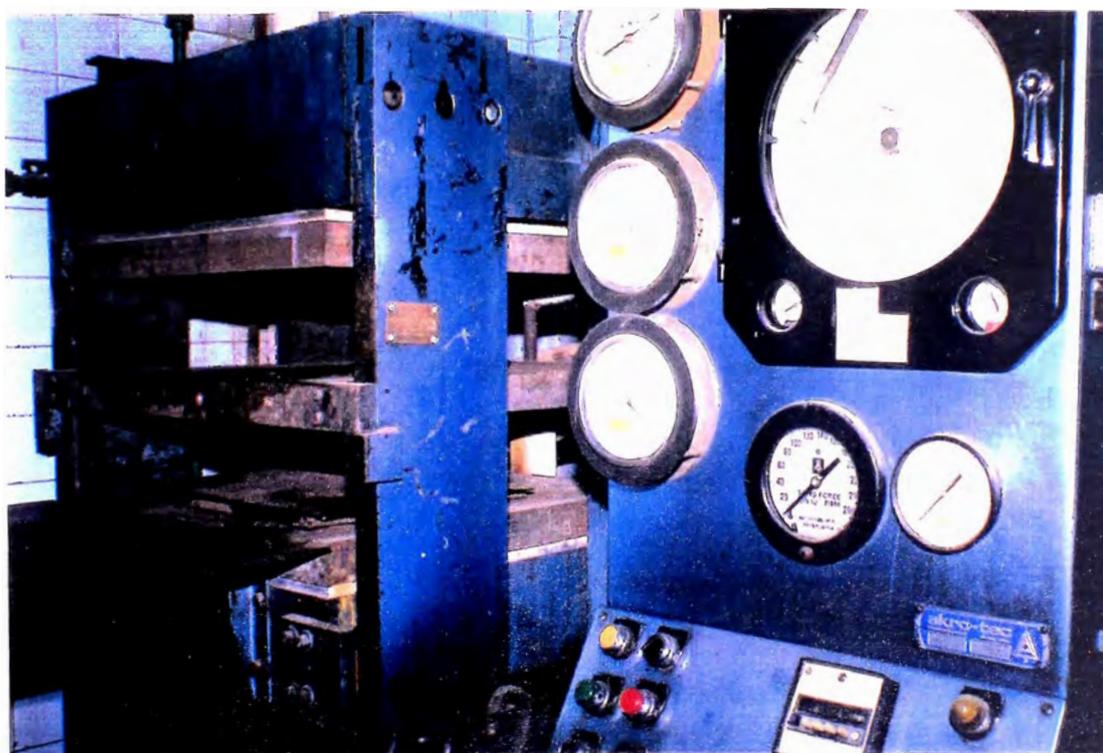
Equipo en el que se efectúa el envejecimiento de los materiales de Caucho bajo condiciones controladas de Presión y Temperatura.

Figura 19.- Molino de Laboratorio

El equipo permite la mezcla y el laminado de los Compuestos de Caucho para la preparación de las muestras a fin de determinar las Propiedades Tensiométricas del material.

Figura 20.- Tensiómetro - Instron

El equipo en mención permite determinar las propiedades Tensiométricas en varios materiales usados en la Industria del Caucho, tales como Telas de Nylon y Alambre de Acero.

Figura 21.- Prensa Hidráulica

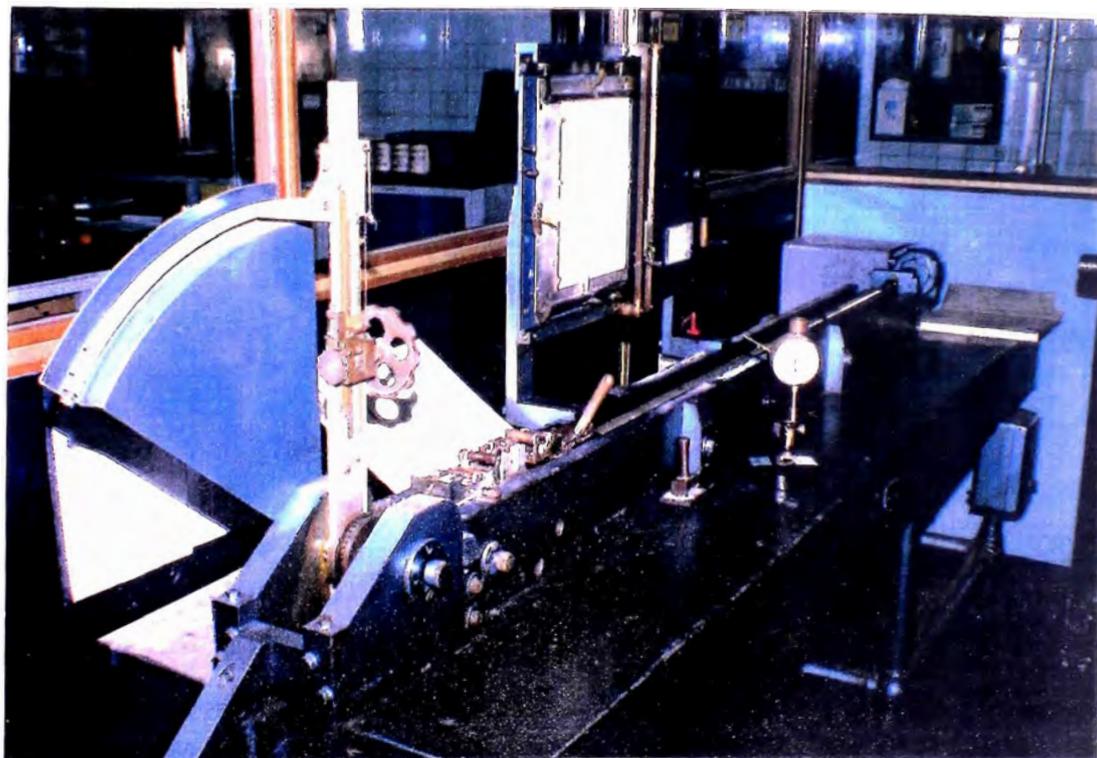
Esta Prensa de Laboratorio posee dos platos para efectuar la Vulcanización de las muestras de Caucho en moldes apropiados, son calentados mediante vapor y permiten determinar la cura óptima de un material de Caucho.

Figura 22.- Viscosímetro Mooney



Este equipo permite determinar la fuerza cortante de los materiales de Caucho a fin de tener una idea de su comportamiento durante la extrusión del material o el tiempo que el material puede ser manipulado antes que se pre-vulcanice.

Figura 23.- Autográfica



Este equipo es un Tensiómetro que nos permite encontrar las Propiedades Tensiométricas de las hojas vulcanizadas de un Compuesto de Caucho directamente en unos charts diseñados para tal efecto.

Figura 24.- Gráficos obtenidos en el VISCOSIMETRO MOONEY

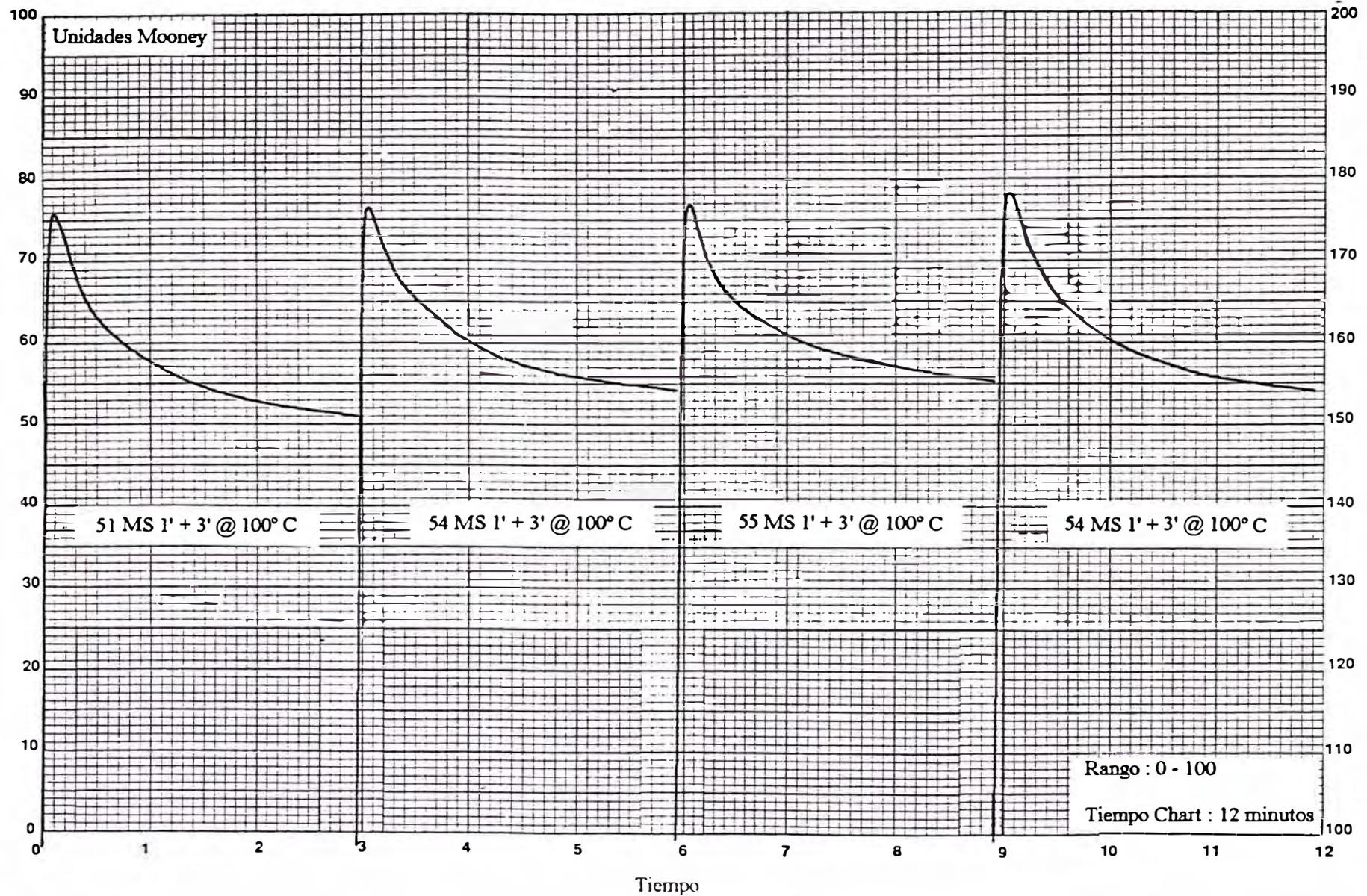


Figura 25.- Gráficos obtenidos en la MAQ. AUTOGRAFICA

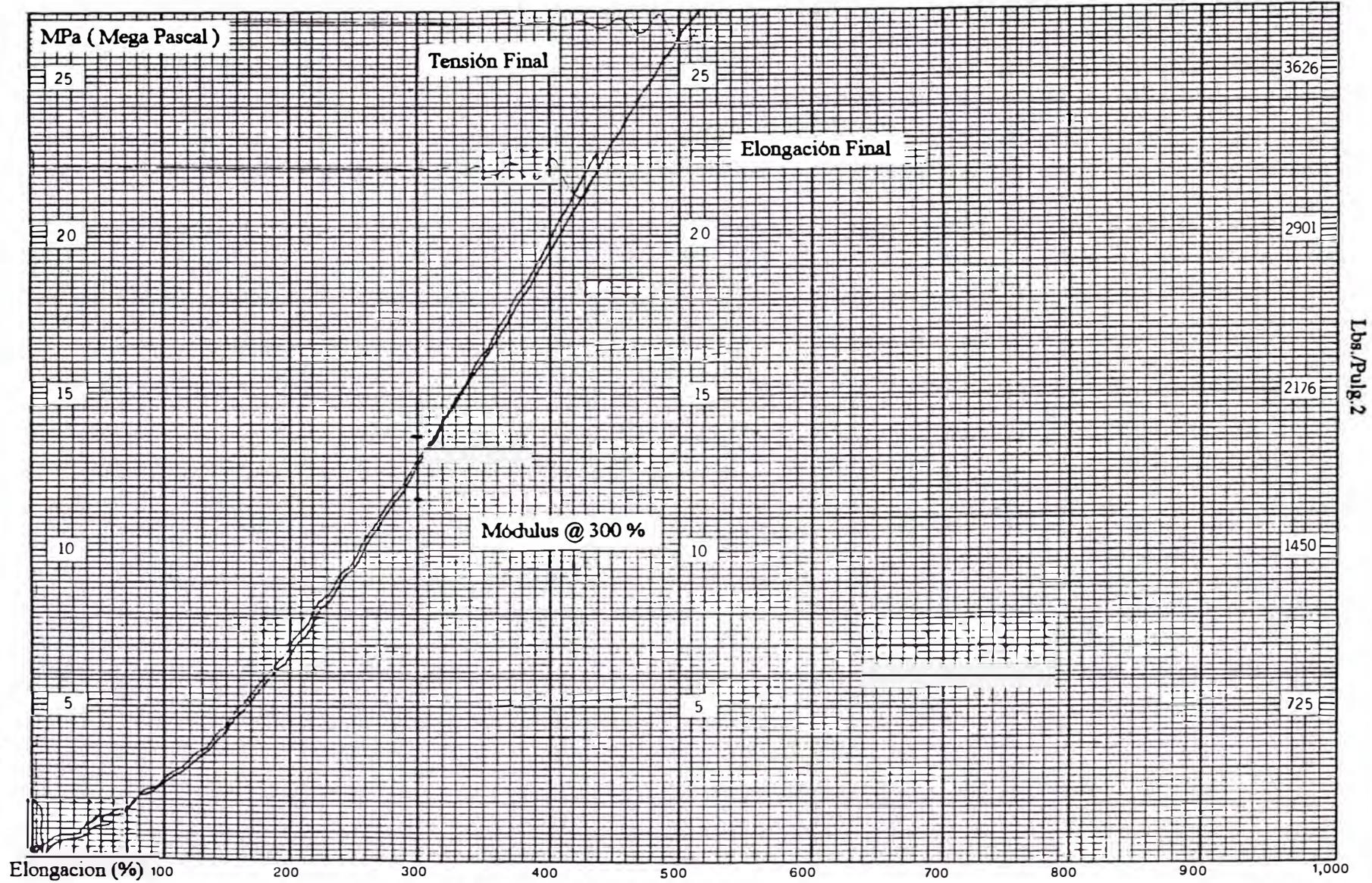
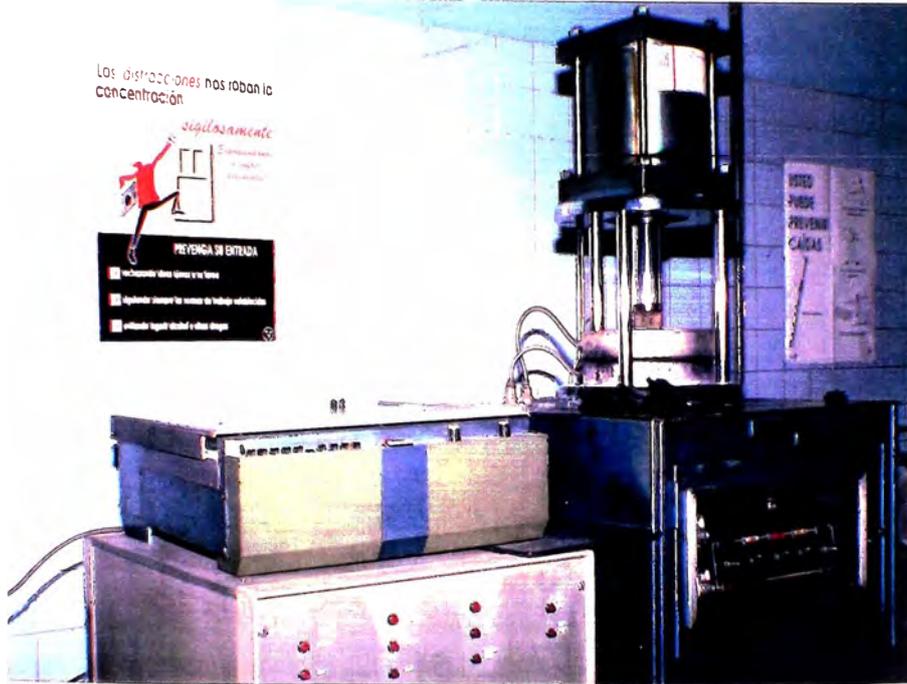


Figura 26.- Rheómetro R-100

Este equipo es el Modelo R-100 cuyas características principales son : poseer Controladores Analógicos, rotor biconico, ajuste del rotor neumático y recuperación de Temperatura en aproximadamente 4 a 5 minutos.

Figura 27.- Rheómetro MDR-2000

Este equipo es el modelo MDR-2000 (Moving Die Rheometer), el cual es uno de los modelos actuales cuya mejora radica en tener Controladores digitales de Temperatura, no usa rotor y permite recuperar rápidamente la Temperatura en 20 a 30 segundos.

**Figura 28.- PARTE MECANICA DEL
RHEOMETRO 100**

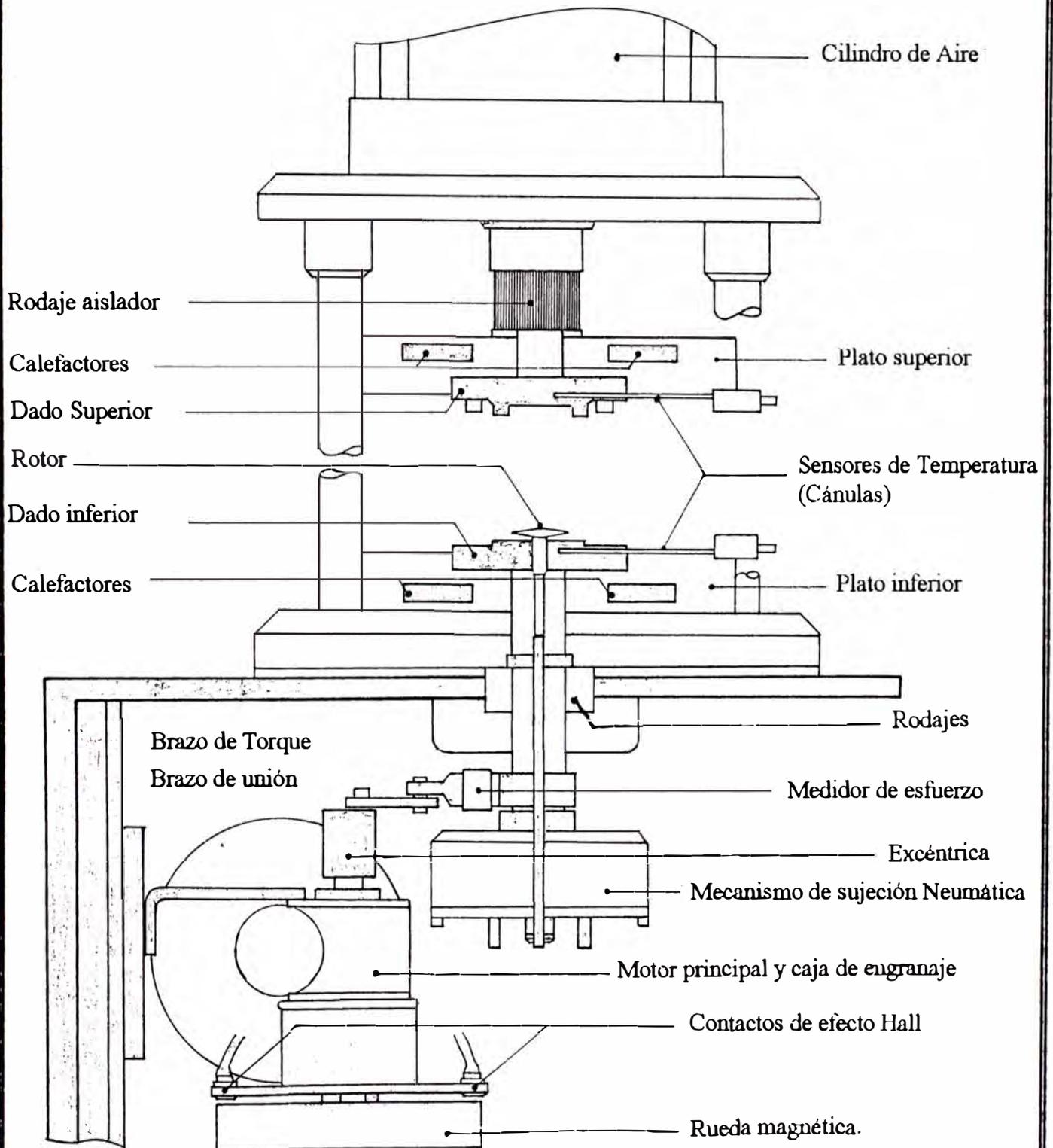


Figura 29.- Dibujo mostrando los Dados y el ROTOR del Viscosímetro Mooney

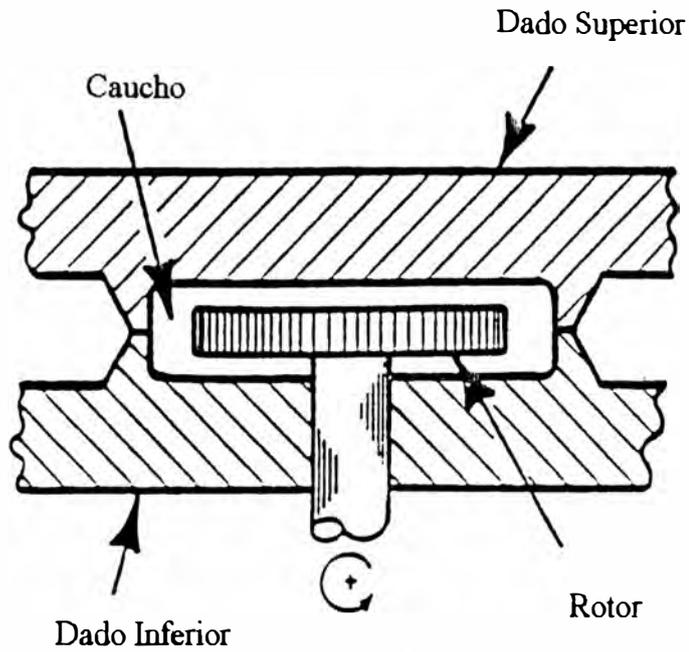
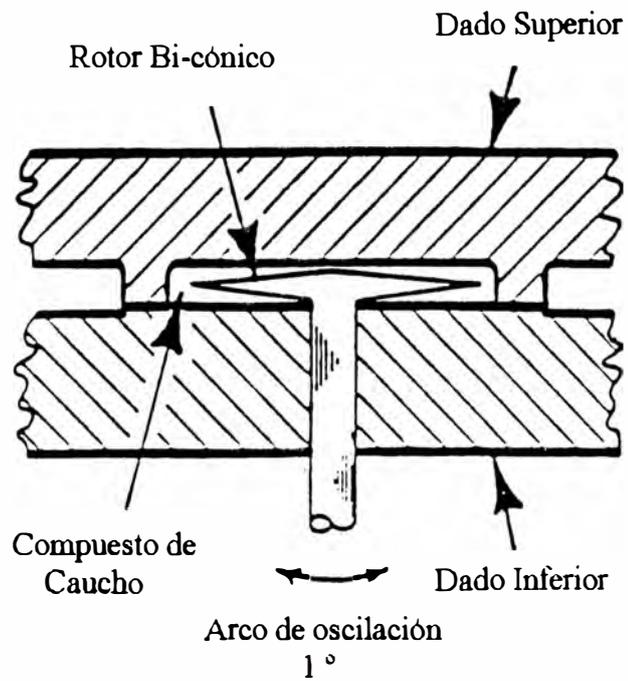


Figura 30.- Dibujo mostrando los Dados y el ROTOR Bi-cónico de un Rheómetro de Disco Oscilante



**Figura 31.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL
RHEOMETRO MDR-2000**

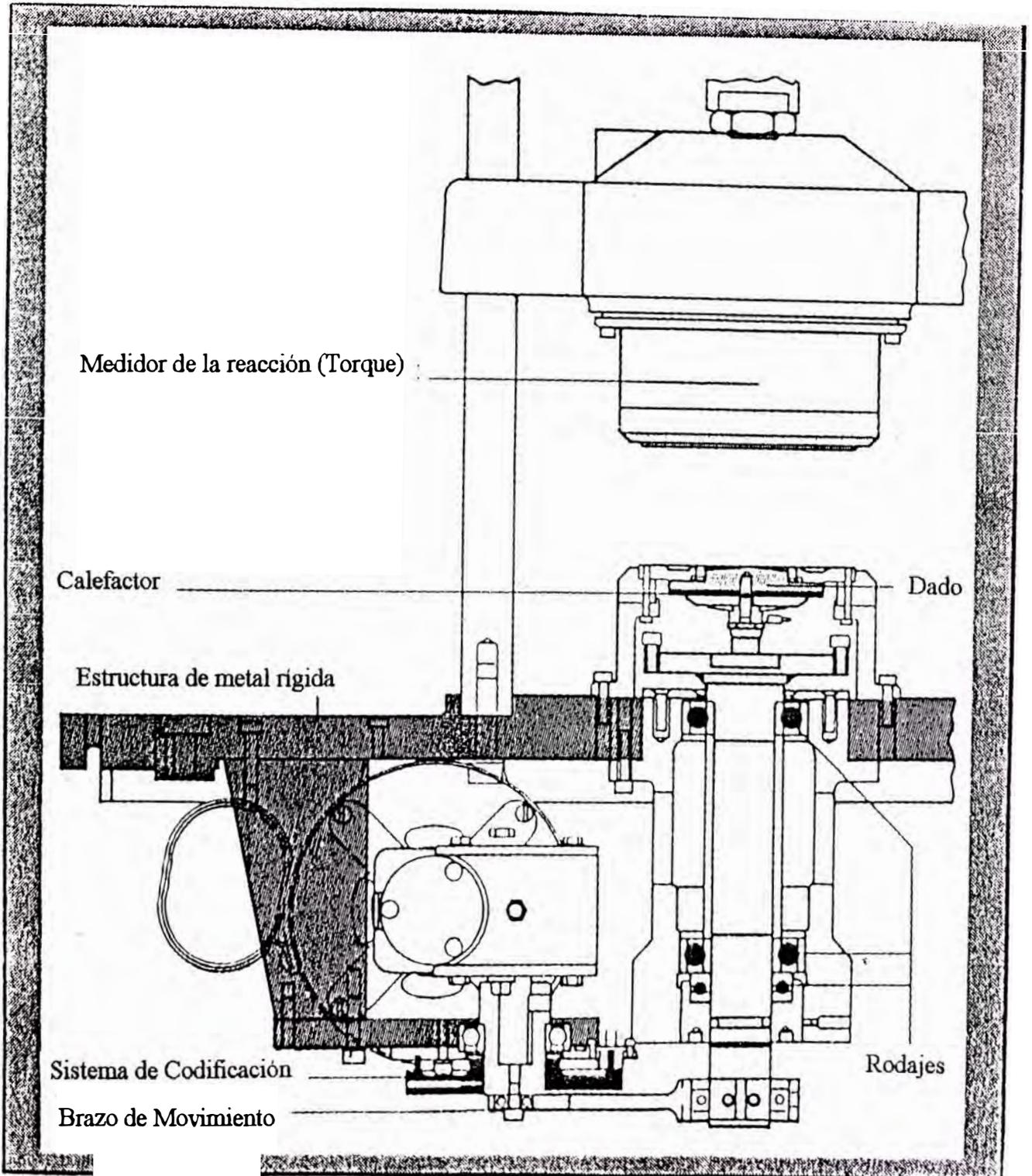
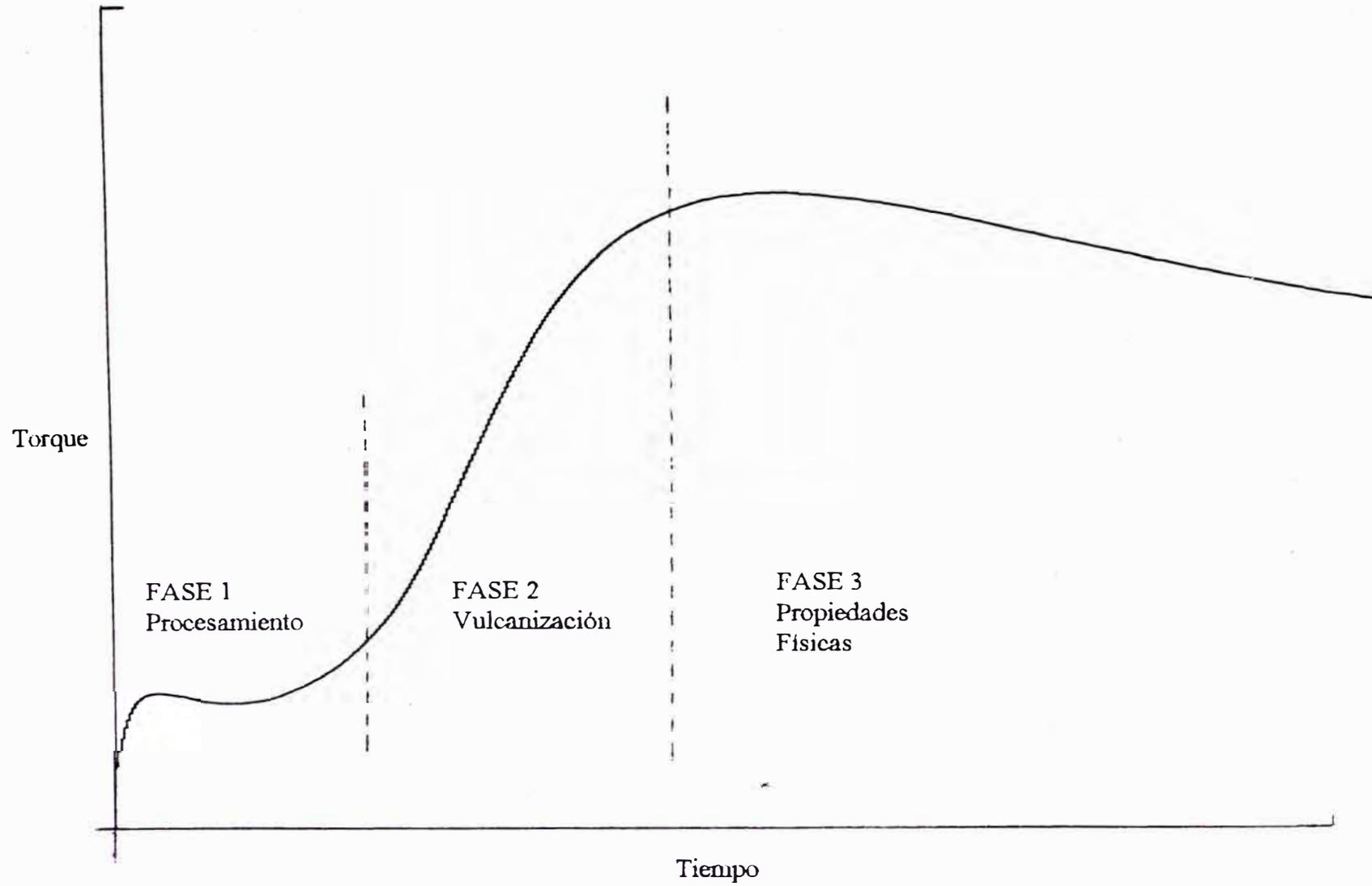


Figura 32.- TRES fases de la CURVA RHEOMETRICA



Torque

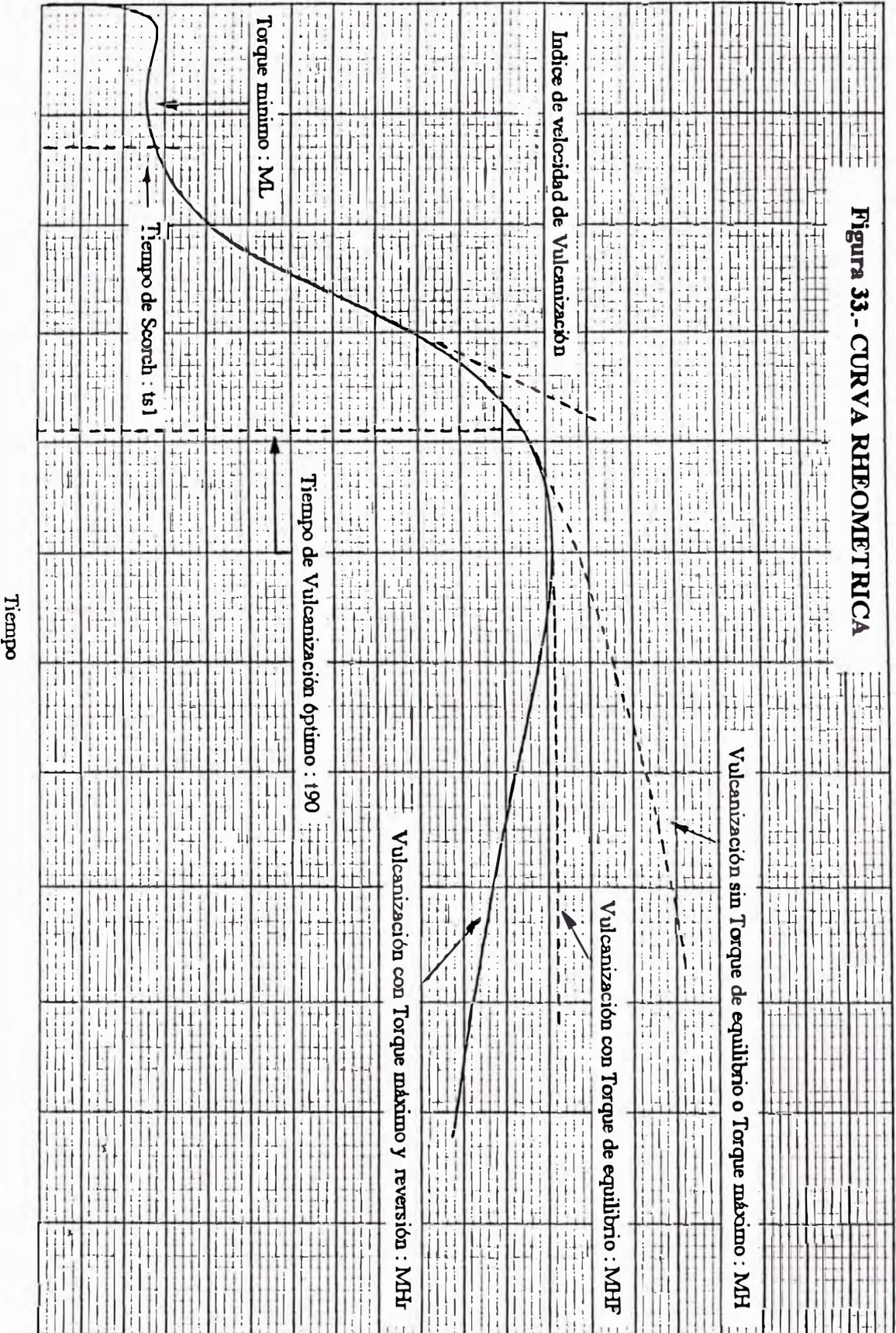


Figura 34.- Cambios en la concentración del ACELERADOR y su efecto en la Curva Rheométrica.

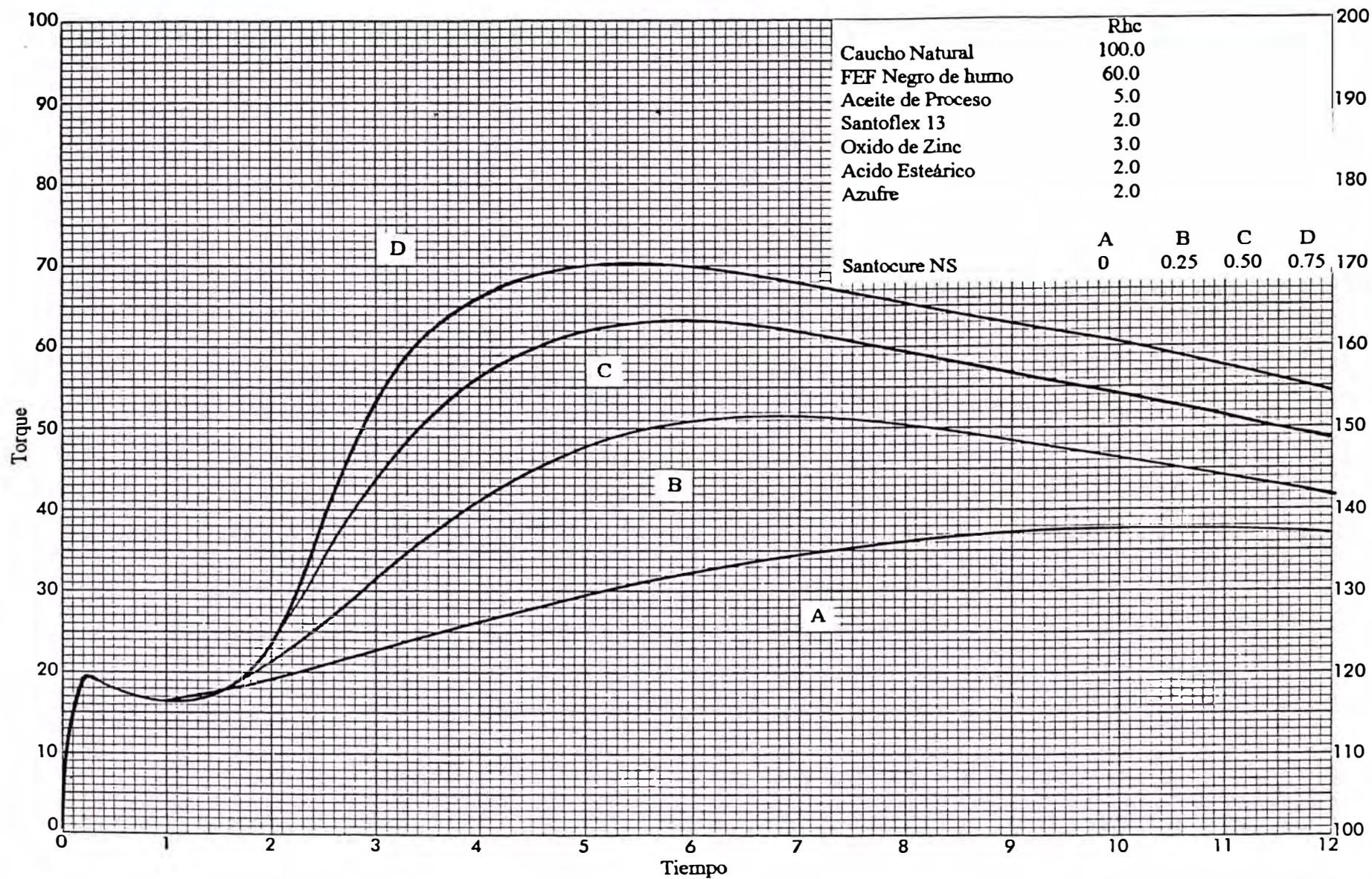


Figura 35.- Variación en el Compuesto-Negro de Humo en SBR

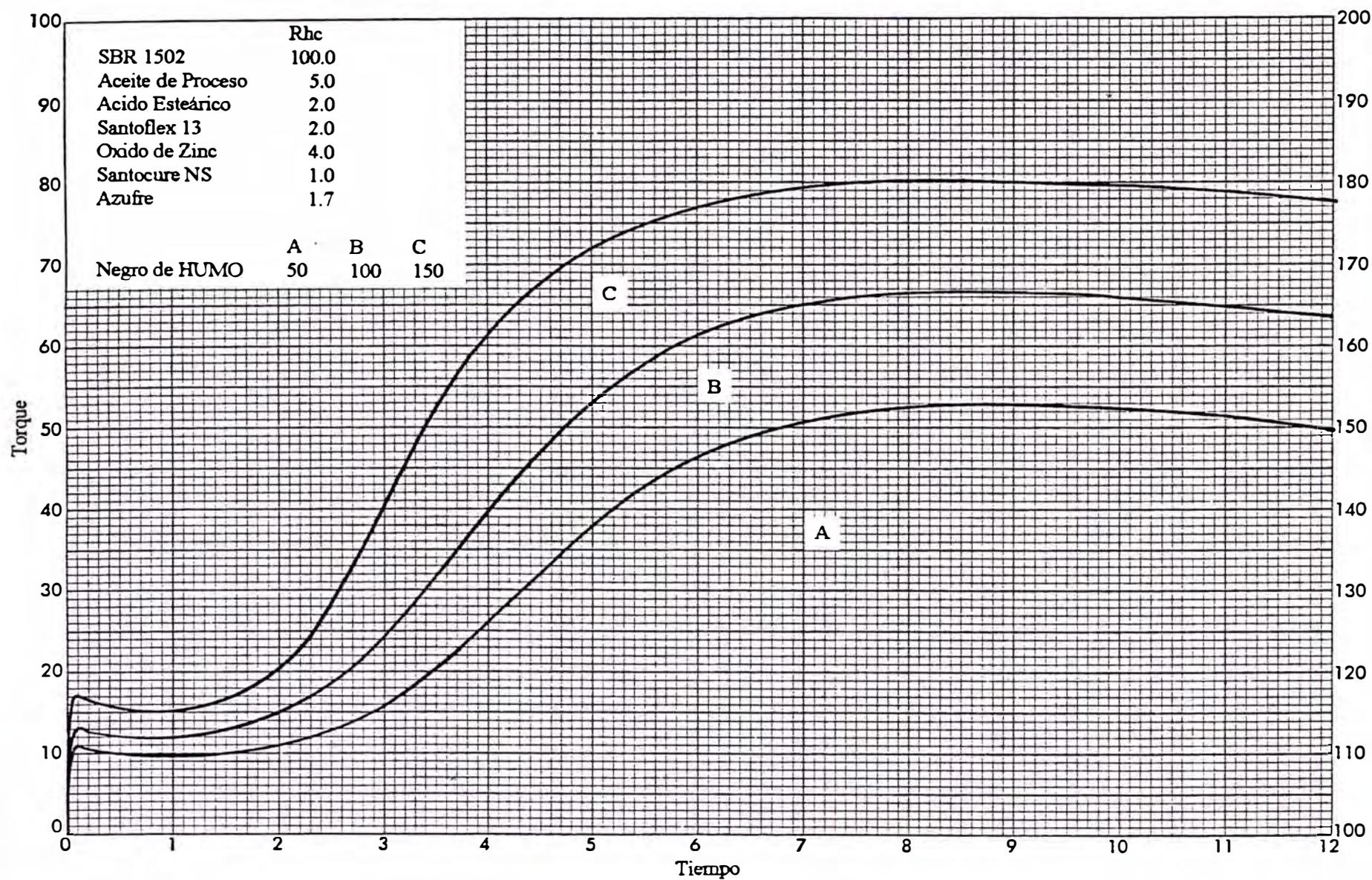


Figura 36.- Curva de Vulcanización - Estudio efecto Azufre-Acelerador

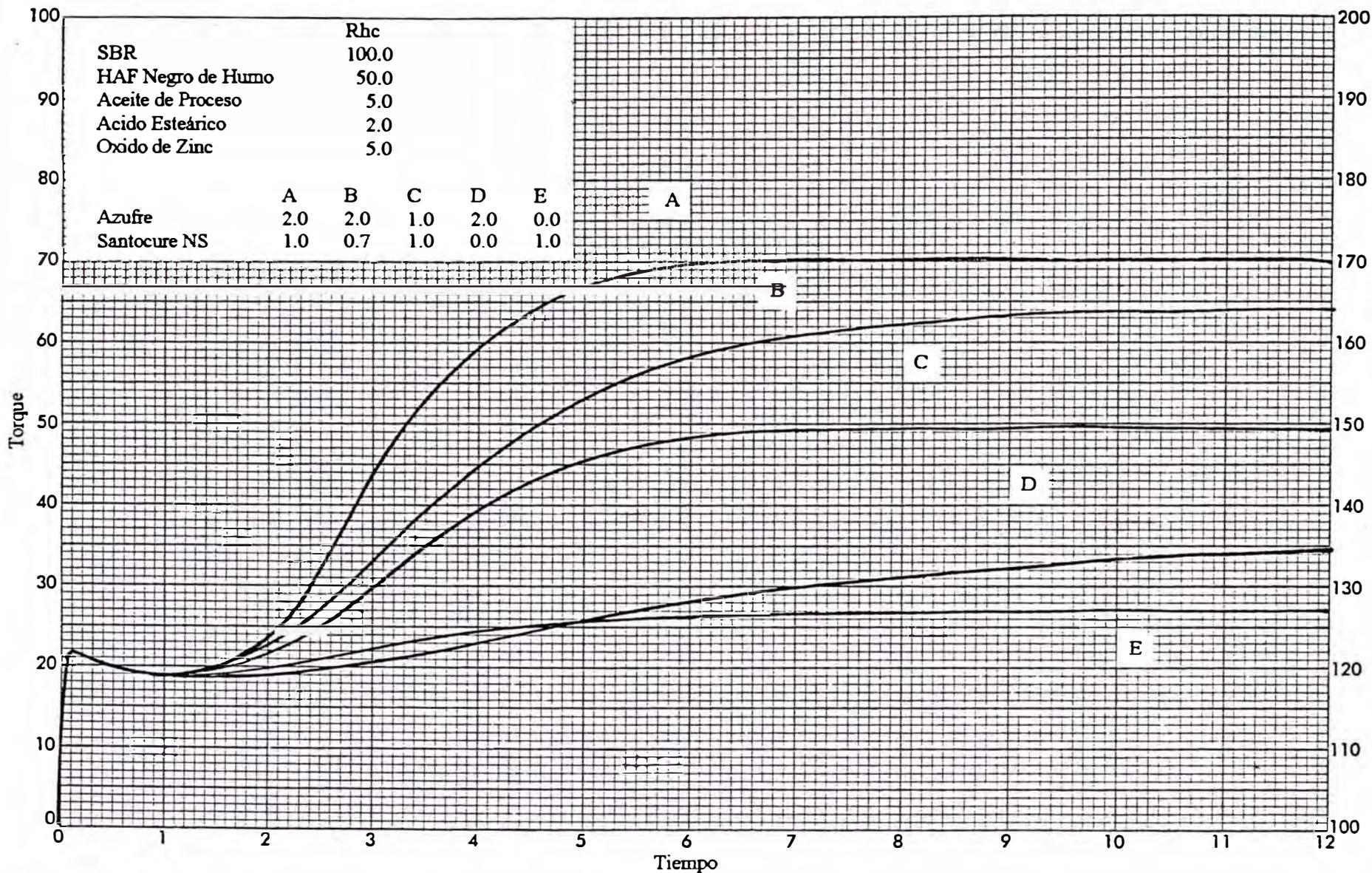


Figura 37.- Curvas elástica S' y viscosa S'' obtenida en el MDR-2000

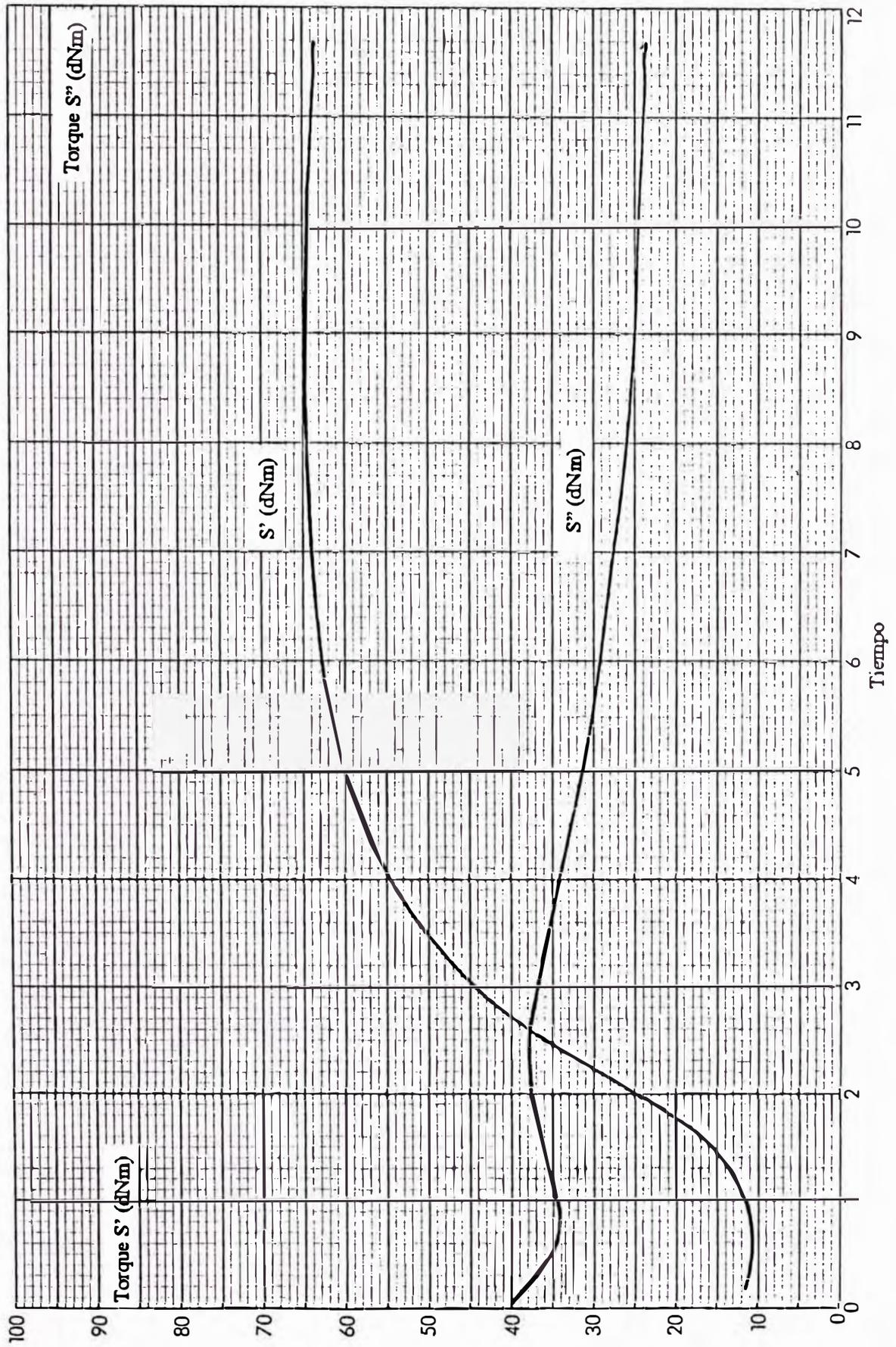


Figura 38.- Influencia del Contenido Cis en las Propiedades Viscoelásticas

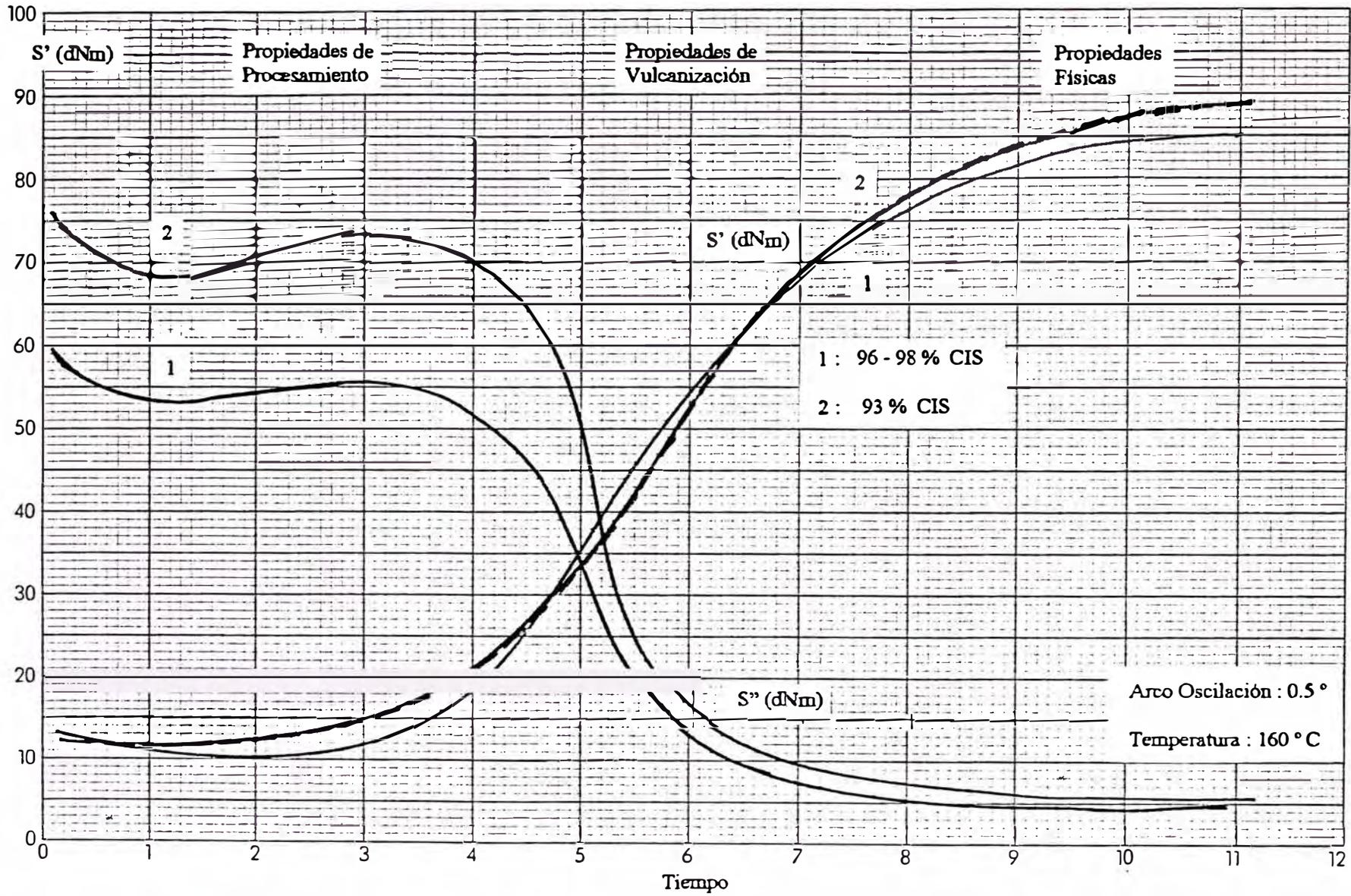


Figura 39.- Influencia del tipo de Negro de Humo en las Propiedades Viscoelásticas

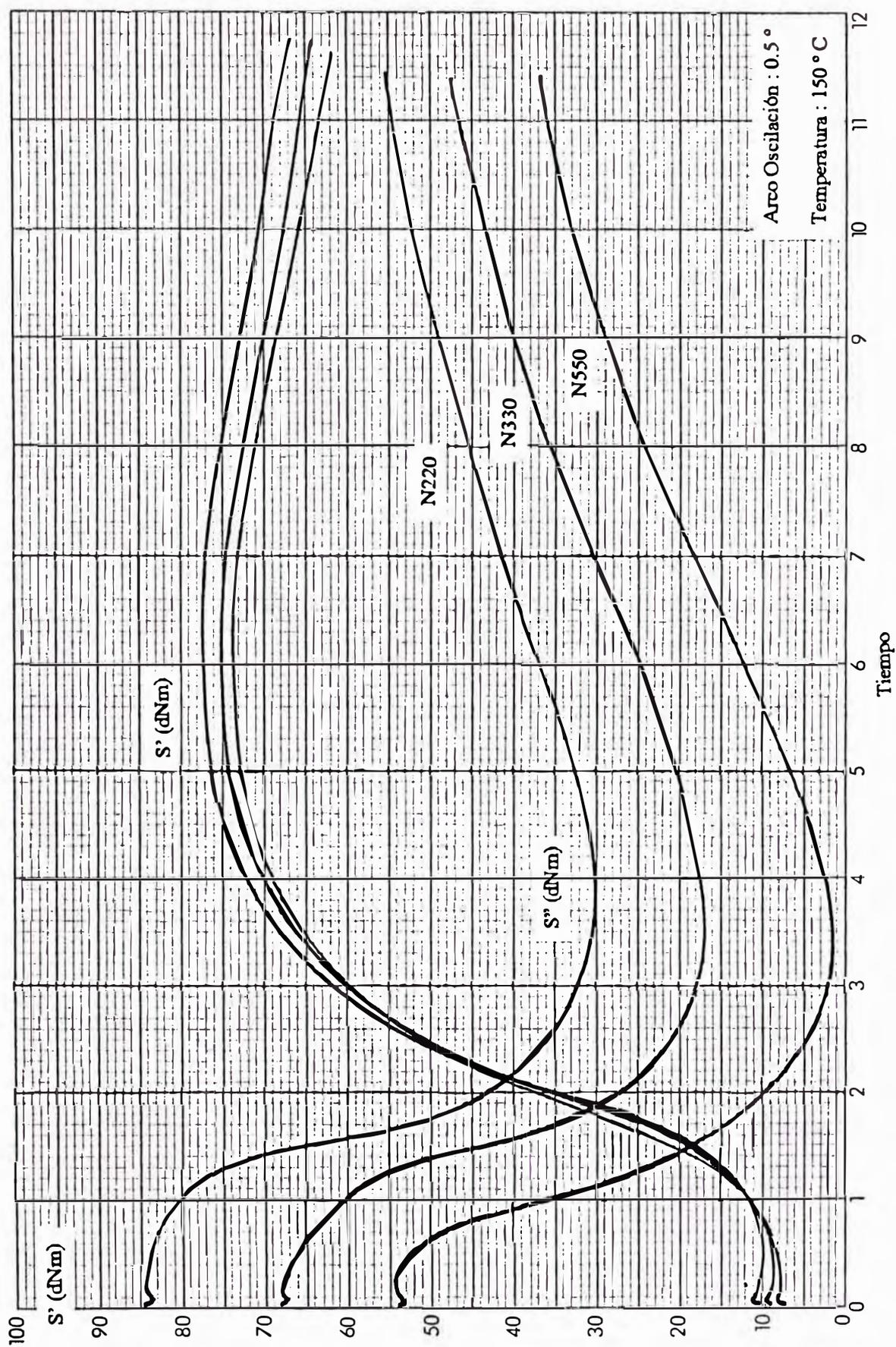
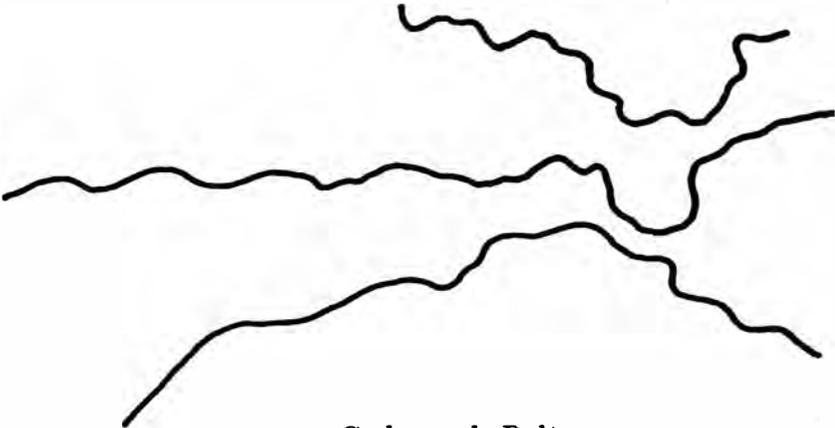
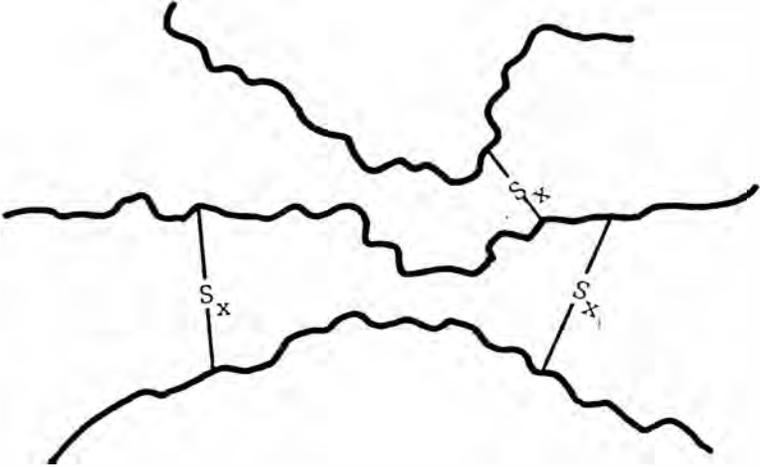


Figura 40.- VULCANIZACION de Cadenas de Polímeros

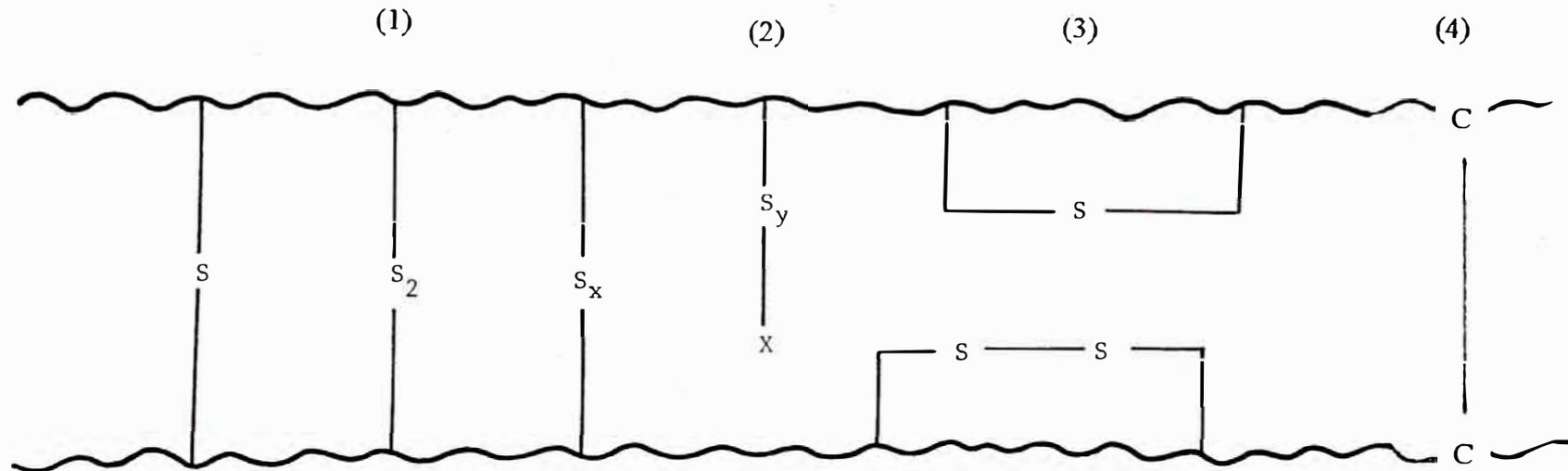


Cadenas de Polímeros



Cadenas de S entre los Polímeros

Figura 41.- Características estructurales de la RED vulcanizada



Formas en que el Azufre está combinado en la RED de Vulcanización

- 1.- Como enlaces cruzados - Puede estar presente como Monosulfuro/Disulfuro/Polisulfuro
- 2.- Como Sulfuros colgantes. X = Acelerador colgante
- 3.- Como Monosulfuros o Disulfuros cíclicos.
- 4.- Enlaces C-C

Figura 42.- Grados de libertad- Molécula cíclica

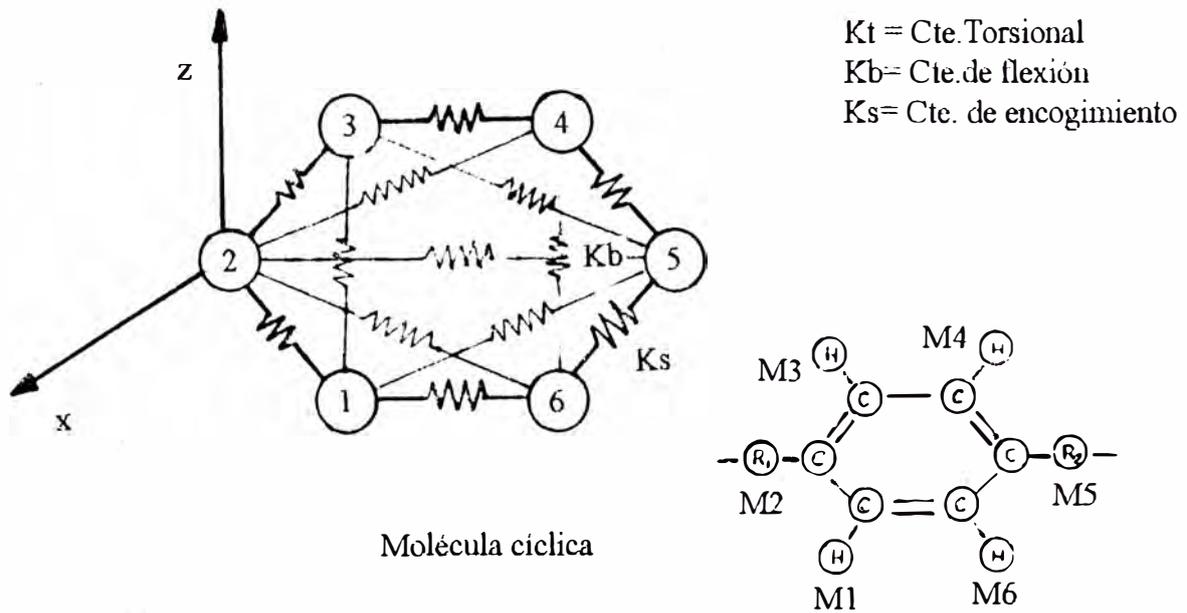


Figura 43.- Grados de libertad- Molécula lineal

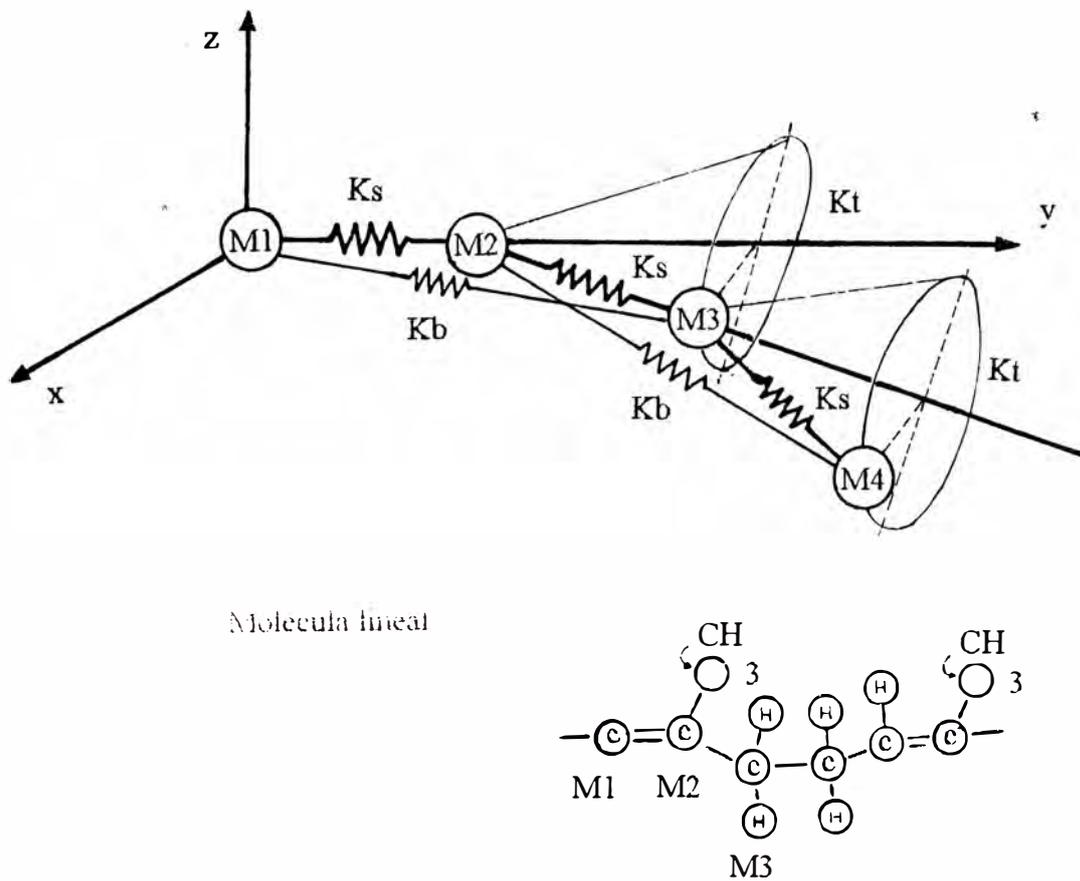


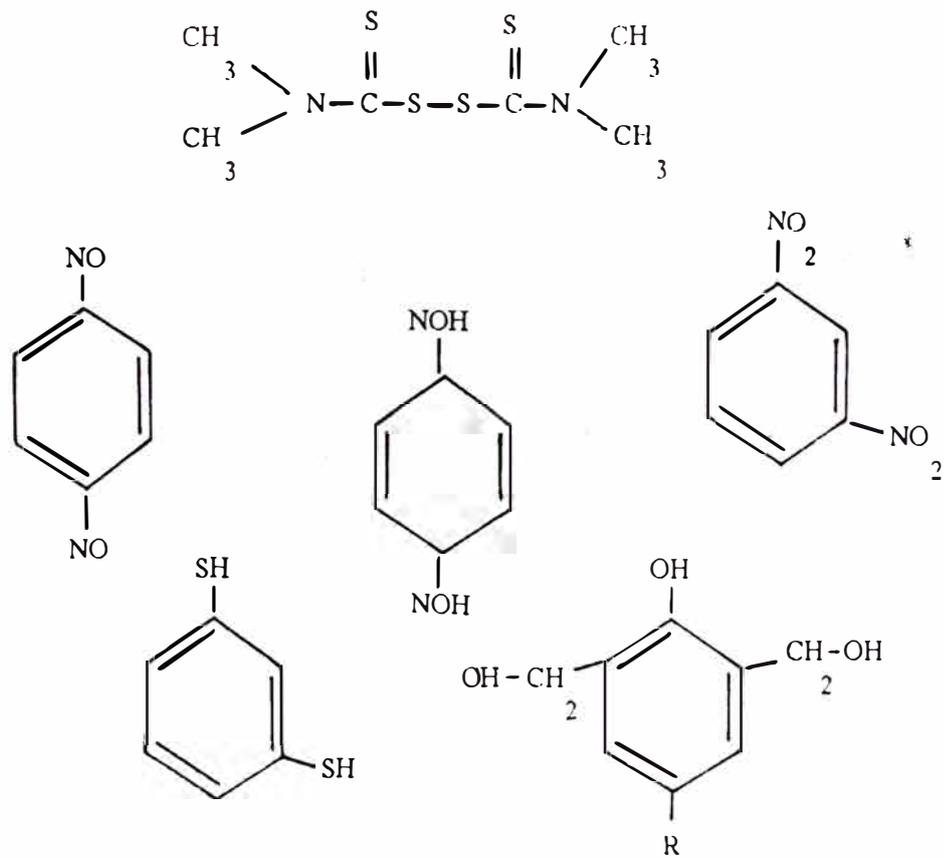
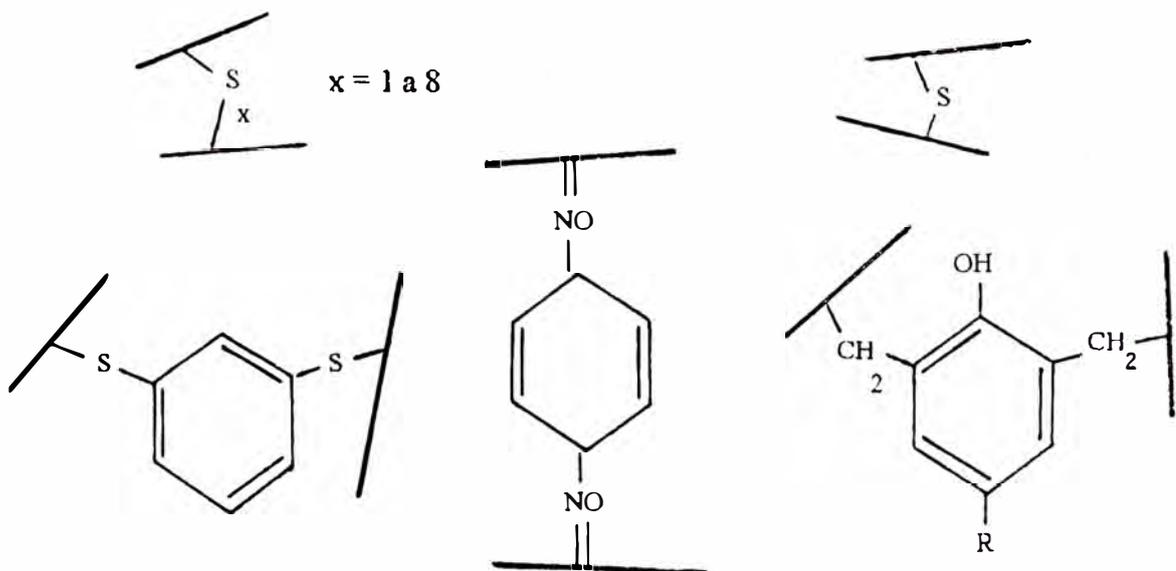
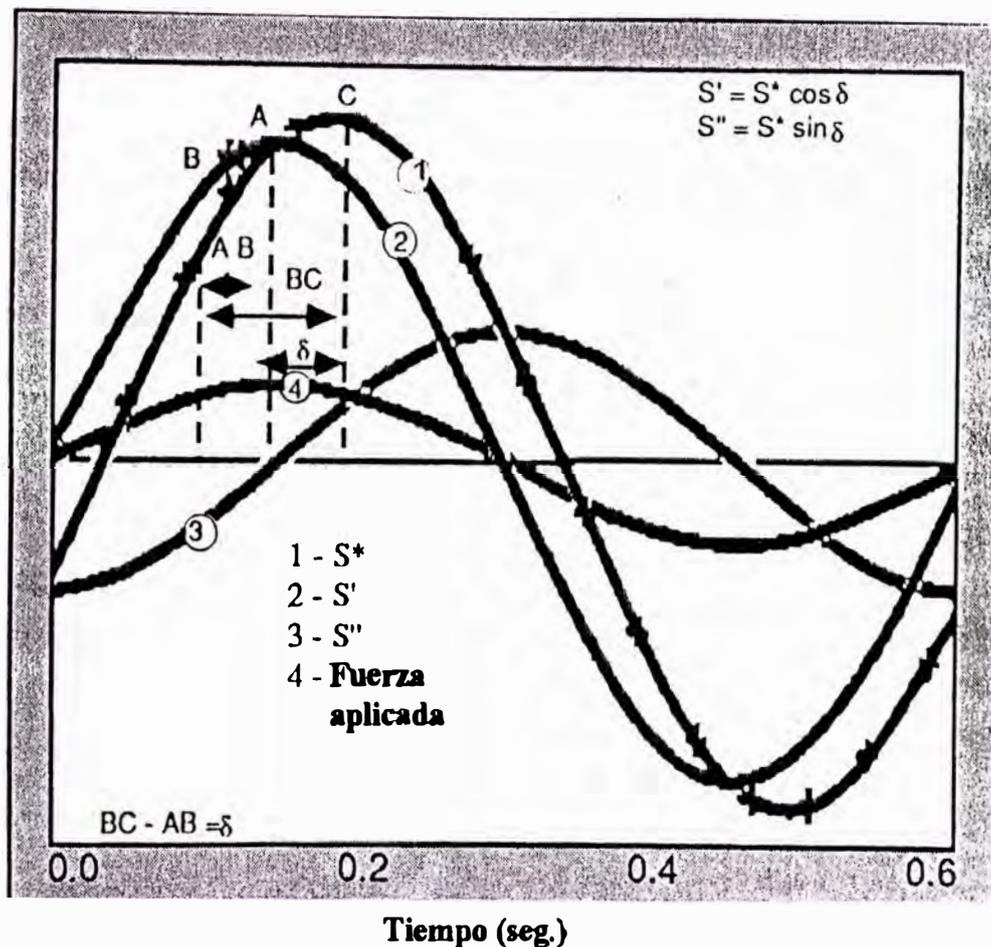
Figura 44.- ATOMOS BIVALENTES O RADICALES**Figura 45.- LIGADURAS CRUZADAS TIPO PUENTE**

Figura 46.- Respuesta de Torques frente a una fuerza Sinusoidal aplicada



- 1.- S^* = Torque complejo
- 2.- S' = Torque Elástico
- 3.- S'' = Torque Viscoso
- 4.- Fuerza aplicada

Angulo Delta = BC-AB
Demora entre el Torque complejo y fuerza aplicada.

Las curvas que se muestran en el dibujo indican la separación del Torque de Módulo complejo en los Torques Elástico (S'') y Viscoso (S') que se da gracias al microprocesador instalado en el Rheómetro MDR-2000. El esfuerzo cortante es aplicado por la oscilación del dado inferior y el transductor mide la reacción del Torque en el dado superior.