

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Estudio de la variación en las propiedades físicas de un caucho con diferentes formulaciones

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERO QUIMICO

DIRECTOR

Dr. VIRGILIO ESPINOZA *Vázquez*

AUTORAS:

LILIANA CASTILLO *C. archipulla*

SILVIA ROMERO *Lavco*

CUENCA · ECUADOR

2002

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a Dios infinitamente
a mi padre y hermanos
que me apoyaron siempre,
y, a mi excelente compañera Silvia Romero

Liliana Castillo C.

Agradezco a Dios, a mis padres
que me dieron todo su apoyo durante
estos años, y a mi querida compañera
Liliana Castillo.

Silvia Romero L.

DEDICATORIA:

A mi Madre, mujer santa
Que por todo su esfuerzo realizado
me ha permitido alcanzar el deseo
más profundo de su ser.

Liliana Castillo C.

A mi hijo Nicolás,
porque solamente quien tiene un hijo
sabe lo indispensable que es ser
alguien en la vida.

Silvia Romero L.

INDICE

	Página
	#
CAPITULO I	
Introducción	1
DEFINICIONES	
Goma	1
Elastómero	2
Vulcanización	3
Normatividad	5
NORMAS ISO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CAUCHO.	
Resistencia a la Tensión	7
Alargamiento a la Rotura	7
Relación Tensión Deformación	10
Módulo	12
Parámetros de Rotura	13
Dureza	14
Abrasión	16
Cálculo de la densidad de la mezcla.	20
CAPITULO II	
CAUCHO NATURAL	
Caucho Natural Obtención	22
Estructura Química	25
Propiedades y Características	26
Ventajas	27

Desventajas	28
CAPITULO III	
COMPONENTES DE LA MEZCLA	
Formulación	29
Propiedades y Características de los componentes del elastómero.	29
Carga reforzante	30
Negro de Humo	31
Rubbersil	33
Acelerantes	33
TMT y CBS	34
Vulcanizante	35
Asufre	35
Antioxidante	37
Vulcanox	38
Activadores	38
Oxido de Zinc y Acido Esteárico	38
Carga Diluyente	39
Caolín	40
Plastificante	41
Aceite Altamente Aromático	42
CAPITULO IV	
ENSAYOS	
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CARGA	45
Variación del negro de humo	47
Ensayos y propiedades de cada una de las mezclas	48
Resistencia a la tensión	48
Alargamiento a la rotura	48
Módulo	49
Dureza	49

Abrasión	49
Conclusiones	53
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTES	54
Ensayos y propiedades de cada una de las mezclas	56
Resistencia a la tensión	56
Alargamiento a la rotura	56
Módulo	56
Dureza	57
Abrasión	57
Conclusiones	61

CAPITULO V

CAUCHO NITRILICO

Caucho Nitrílico Obtención	62
Estructura Química	64
Propiedades y Características	64
Ventajas	66
Desventajas	66

CAPITULO VI

ENSAYOS

DOSIFICACION DE LA MEZCLA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CARGA	67
Variación de rubbersil	69
Ensayos y propiedades de cada una de la mezcla	70
Resistencia a la tensión	70
Alargamiento a la rotura	70
Módulo	70
Dureza	71
Abrasión	71

Conclusiones	75
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTE	76
Ensayos y propiedades de cada una de las mezclas	77
Resistencia a la tensión	77
Alargamiento a la rotura	77
Modulo	78
Dureza	78
Abrasión	78
Conclusiones	82

CAPITULO VII

ANALISIS DE RESULTADOS

Elaboración de gráficas y análisis de resultados	83
Variación de negro de humo en el caucho natural	83
Resistencia a la tensión	83
Alargamiento a la rotura	84
Módulo	85
Dureza	86
Abrasión	87
Variación de plastificante en el caucho natural	88
Resistencia a la tensión	88
Alargamiento a la rotura	89
Módulo	90
Dureza	91
Abrasión	92
Variación de rubbersil en el caucho nitrílico	93
Resistencia a la tensión	93

Alargamiento a la rotura	94
Módulo	95
Dureza	96
Abrasión	97
Variación de plastificante en el caucho nitrílico	98
Resistencia a la tensión	98
Alargamiento a la rotura	99
Módulo	100
Dureza	101
Abrasión	102
CAPITULO VIII	
Conclusiones	103
Recomendaciones	107
BIBLIOGRAFIA	108

CAPITULO I

INTRODUCCION

1. GENERALIDADES

1.1. DEFINICIONES

1.1.1. CAUCHO

El caucho pertenece a la clase de sustancias denominadas "alto-polímeros" materiales generalmente orgánicos, de alto peso molecular, formados por largas cadenas moleculares compuestas de unidades repetidas (monómeros). Correctamente, se los designa como elastómeros.

Históricamente, el caucho natural constituye el primer elastómero empleado por la industria que prácticamente se originó con él.

Cristóbal Colón es considerado el primer europeo en descubrirlo durante su segundo viaje (1493-1496) encontró nativos de Haití jugando con pelotas hechas con el exudado de un árbol al que llamaban *cau-u-chu* o madera que llora.

1.1.2. GOMA

En el año de 1820, Thomas Hanckok inventó la máquina llamada mezcladora que permitió ablandar el caucho, mezclarlo y darle forma. Obteniendo con este proceso la llamada goma que es una mezcla homogénea de diversos ingredientes como:

- Acelerantes
- Cargas reforzantes
- Vulcanizante

- Antioxidantes
- Activadores
- Cargas diluyentes
- Plastificantes

Preparados a partir del caucho por un proceso físico de fricción y cizallamiento realizado en el molino.

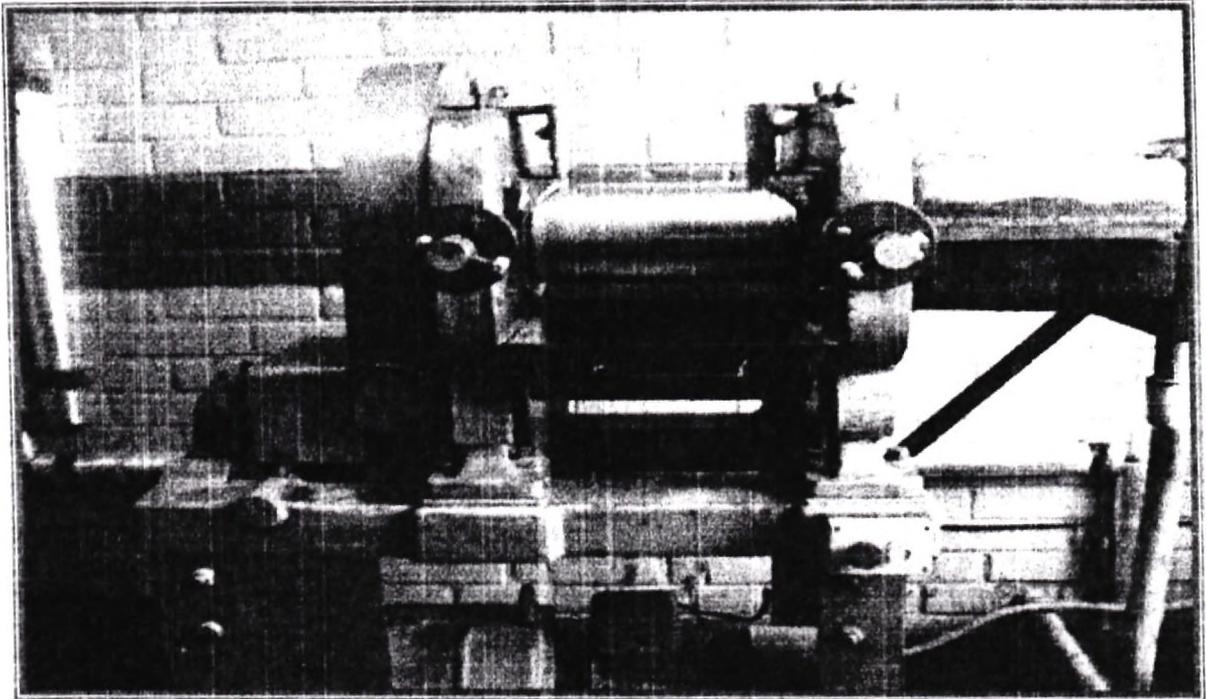


Figura 1.1. Molino

1.1.3. ELASTÓMERO

Es el material que se obtiene calentando la goma y provocando con ello el proceso químico llamado vulcanización.

Los elastómeros suelen estar constituidos por largas cadenas muy flexibles y con pequeñas fuerzas intermoleculares, estos materiales tendrán una temperatura de transición vítrea muy baja, y a temperatura ambiente los segmentos de las cadenas poseerán una gran movilidad y el material se comportará como una goma de mascar.

El material es un compuesto de mayor o menor viscosidad que puede moldearse fácilmente, pero con el tiempo y la acción de la gravedad fluye perdiendo la forma. Si una vez moldeada la forma deseada, se entrecruzan ligeramente las cadenas (proceso de vulcanización), se formarán retículos de grandes dimensiones. Además el segmento de la cadena comprendido entre dos entrecruzamientos es flexible y de gran movilidad a temperatura ambiente. Así cuando se produzca ahora un estiramiento del material éste fluirá fácilmente causando un gran alargamiento en el sentido y dirección de la tensión aplicada, pero llegará un momento en el que se habrá producido el estiramiento de los segmentos de la cadena entre entrecruzamientos, y como las cadenas no pueden ahora fluir a causa del entrecruzamiento, si se aumenta la tensión se producirá la rotura del material.

Ahora bien, una vez el material estirado, cuando dejemos de aplicar la tensión, el material recuperará su forma original puesto que volverá a su estado de equilibrio con los segmentos de las cadenas comprendidos entre los nudos del entrecruzamiento en forma de ovillos.

1.1.4. VULCANIZACIÓN

Vulcanización o cura es el proceso mediante el cual el compuesto, de un estado crudo esencialmente plástico se convierte al estado vulcanizado, esencialmente elástico. Esta transformación, que implica el enlace químico de las moléculas del elastómero con el elemento vulcanizante en ciertos lugares llamados "sitios reactivos" se denomina, como vimos,

entrecruzamiento y se lo realiza en la prensa de vulcanización.

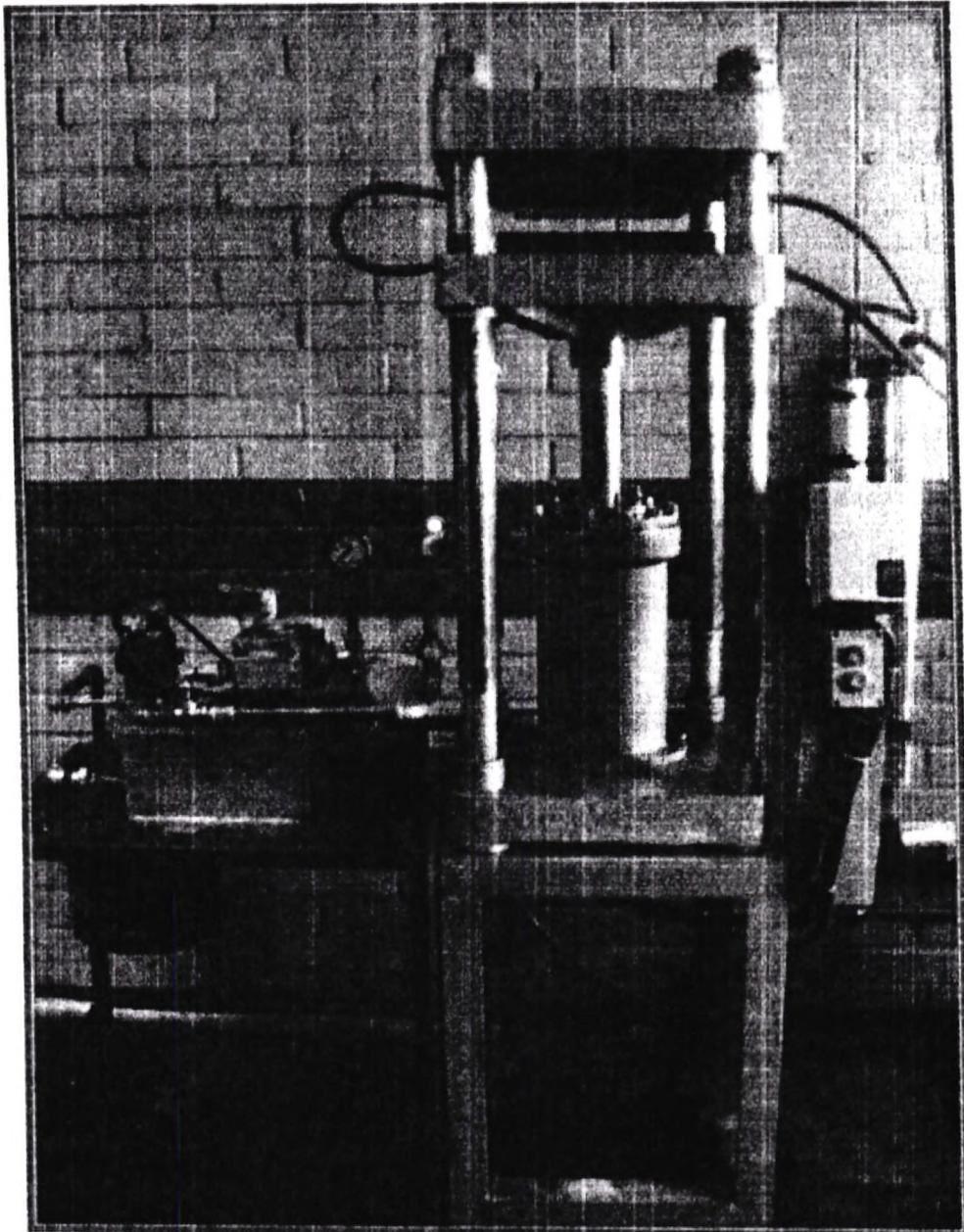


Figura 1.2. Prensa

Moderadamente, el término vulcanización se aplica en un sentido más amplio, abarcando también el equipamiento y las técnicas con que se produce.

Fue una curiosa casualidad lo que llevó al descubrimiento de la combinación del caucho con el

azufre, dando como resultado un producto altamente elástico, con ausencia casi de pegajosidad

El primer compuesto esta formado por dos:

- Caucho
- Azufre

Y alcanza el máximo grado de cura en unas 4 horas, a 140°C. Cuando la incipiente industria comenzó a plantear requerimientos de productividad, esos tiempos resultaron inadmisibles, por lo que la industria se vio obligada a encontrar un producto que bajara este tiempo de vulcanización, encontrando así los acelerantes. Estos productos pudieron acortar el tiempo de vulcanización en pocos minutos, apareciendo otro nuevo problema llamado prevulcanización de los compuestos en su proceso, que es cuando la goma comienza a vulcanizarse antes de someter al proceso en sí, lo que nos llevó a usar los retardantes.

Además de su función específica, los acelerantes tienen una gran influencia sobre las propiedades generales del compuesto y en consecuencia su elección es un problema delicado, ya que hay que conciliar requisitos que a menudo son antagónicos: costo, procesabilidad, propiedades físicas, dinámicas, etc..

1.2. NORMATIVIDAD

El extraordinario desarrollo que en los últimos años ha experimentado la industria del caucho, y, por lo tanto, el aumento de la competencia que ello implica, son causa de la necesidad de producir algunos artículos de caucho que, además de tener buen aspecto y acabado respondan perfectamente a

las necesidades que de la pieza se espera en el servicio. Al proyectar una fórmula estamos obligados a tener en cuenta todas las variables del servicio al que se destina, entendiéndose por tales todos aquellos factores que pueden modificar el comportamiento de la goma; por otro lado, la mayoría de casas bien organizadas especifican en sus pedidos las características de la goma que desean, les sea servida, todo lo cual conduce a la necesidad de que en cada industria de artículos de caucho tengan instalado un laboratorio de control para ensayar todas las mezclas y así poder atestiguar que las piezas confeccionadas poseen unas constantes físicas encuadradas dentro de los márgenes que señalan las especificaciones del cliente. Naturalmente, cada laboratorio puede concebir, y en casos especiales desarrollar una serie de ensayos para determinar estas características, pero esto lleva a grandes dificultades para la interpretación de resultados, a quienes no son los del propio laboratorio diseñador. Para evitar la profusión de distintos ensayos, para unificar los resultados y unidades, y sobre todo para asegurar el control y calidad de nuestro producto, cada país se ha preocupado, mediante la creación de organismos pertinentes de elaborar una serie de normas que permitan homogenizar los resultados obtenidos en el laboratorio, y garantizar la calidad del producto; con este fin, se han constituido organismos tales como la ASTM en los Estados Unidos, la BSI en Inglaterra, la AFNOR en Francia, la DIN en Alemania, y la UNE en España. Además, y con vistas de obtener una serie de normas que sirvan para todos los países se estudian en las reuniones de la ISO los resultados conseguidos por las normas propuesta por cada país, y se elaboran unas normas internacionales que

permitan la comparación de resultados obtenidos en los laboratorios de los diferentes países.

1.2.1. NORMAS ISO PARA LA DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DEL CAUCHO

La norma que se usará para los ensayos de resistencia a la tensión, alargamiento a la rotura y módulo, es la ISO 37; para la dureza la ISO 868 y para la abrasión ISO 4662.

1.2.1.1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN Y ALARGAMIENTO A LA ROTURA

Las propiedades mecánicas de un polímero, su resistencia a la tracción (tensión) por ejemplo está íntimamente relacionadas con la naturaleza de las fuerzas que se desarrollan en sus moléculas. Podría suponerse entonces que la resistencia a la tracción de un caucho depende de la resistencia a la rotura de cualquiera de sus moléculas. Pero si sumamos todas esas resistencias individuales tendremos un valor que es mucho más elevado del que provoca la rotura de una pieza de goma.

El reforzado con partículas y agregados de cargas y la vulcanización con los puentes o vínculos de entrecruzamiento producen fuerzas de atracción artificiales entre las moléculas que pueden llegar a compensar en parte la ausencia del vínculo en las porciones amorfas. La parte no compensada, es la que explica, justamente, la pequeña fase plástica que aún permanece en el compuesto vulcanizado.

Para comprender el rendimiento de un material resulta esencial saber como responderá dicho material al aplicar una carga cualquiera. Si se

conoce el grado de deformación introducido por una carga determinada (tensión), el diseñador de la pieza puede predecir la respuesta de la aplicación en las condiciones de servicio. Las relaciones tensión/deformación de una pieza sometida a tracción constituyen la propiedad mecánica que más se tiene en cuenta a la hora de comparar materiales o diseñar una aplicación.

Según la norma ISO 37 la relación tensión/deformación se determinan de la siguiente manera:

- a. Se toma una probeta con las dimensiones que establece la misma, como se observa en la siguiente Figura 1.3.:

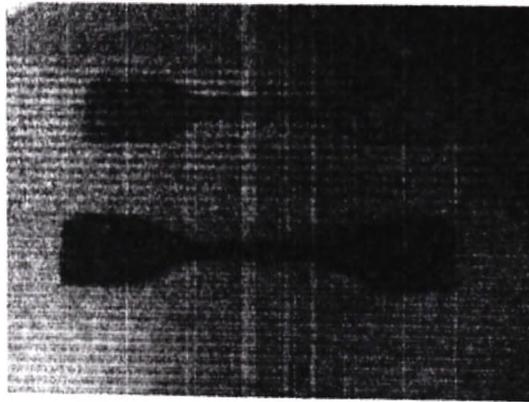
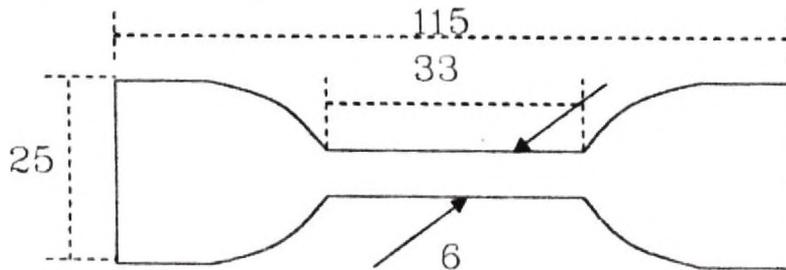
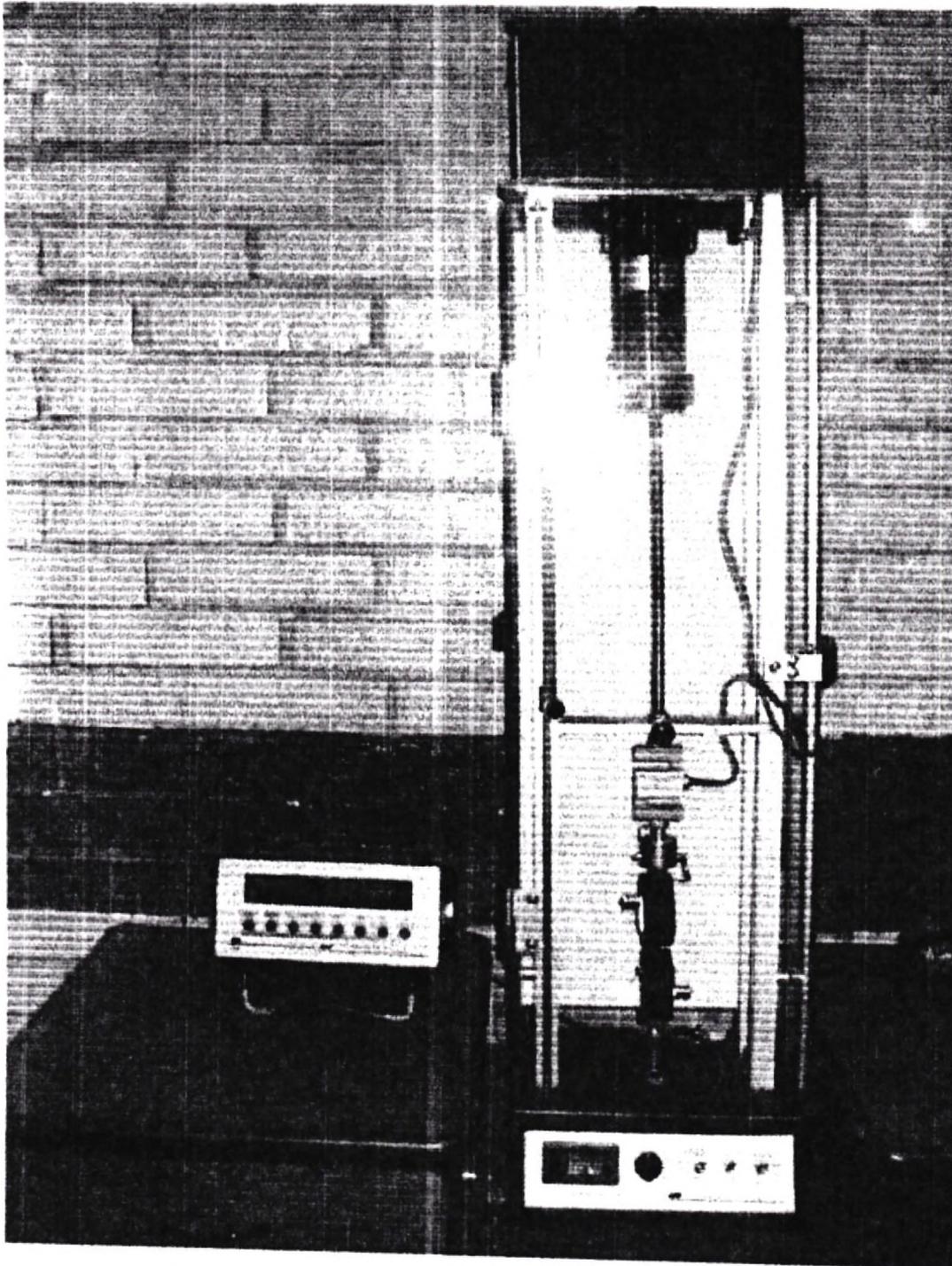


Figura 1.3. Probeta de ensayo de tracción

- b. Se alarga a una velocidad constante, se registra la carga aplicada para luego poder calcular la tensión y el alargamiento, todo este proceso se realiza en el instrumento llamado tensiómetro (Figura 1.4).

En cada ensayo deben probarse un mínimo de tres probetas.



1.2.1.1. RELACIONES TENSIÓN DEFORMACIÓN

Si sometemos a un material sólido perfectamente elástico a un estiramiento encontramos una relación entre la Tensión T y el alargamiento E que aquella produce.

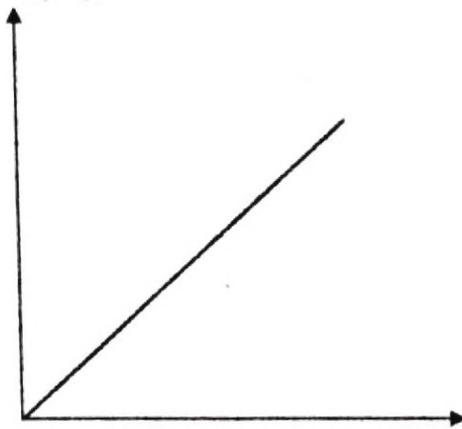


Figura 1.5. Relación tensión - alargamiento en sólidos

Se trata de una ley lineal, atribuida a Hooke:

$$T = K \cdot E$$

Donde T es la resistencia a la tensión y E es la deformación relativa. K es una constante llamada Módulo de Elasticidad.

Por lo tanto la tensión es la fuerza por unidad de superficie de la sección original de la probeta, necesaria para estirar dicha probeta hasta la rotura.

En los materiales viscoelásticos en cambio, la relación entre T y E no es lineal ya que el módulo de elasticidad K depende de la amplitud o grado de deformación. Si sometemos a la tracción a una probeta de dimensiones apropiadas y graficamos nuevamente la tensión en función del estiramiento

para un compuesto de caucho tendremos la siguiente curva:

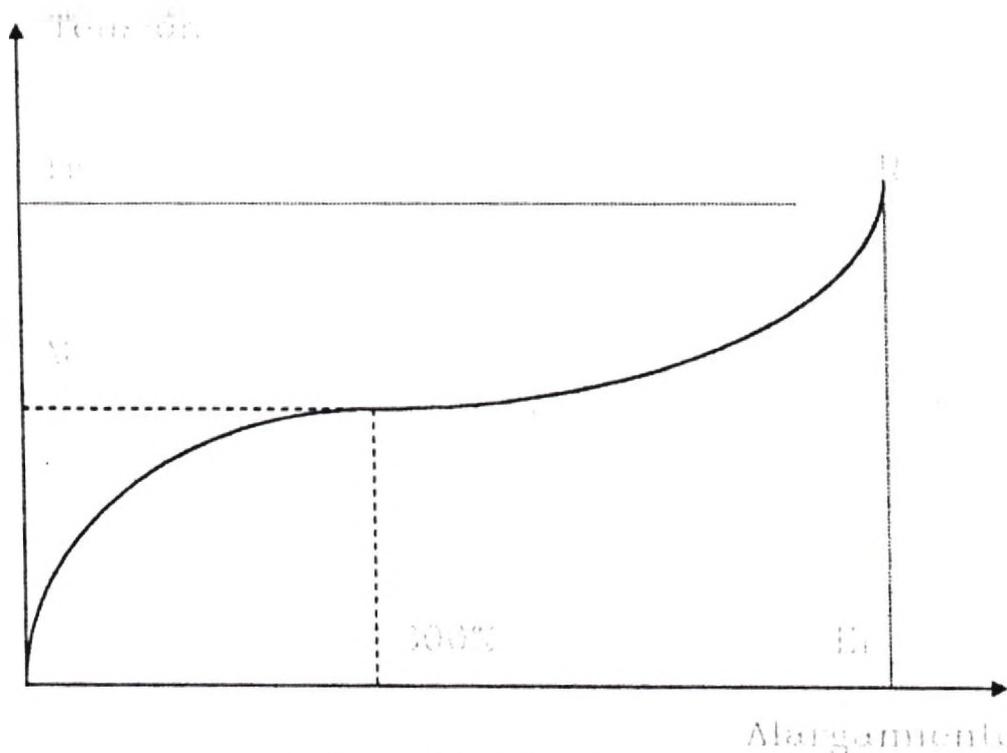


Figura 1.6 Relación tensión - alargamiento en caucho.

Esta curva tiene una serie de parámetros o puntos singulares que se utilizan para definir las propiedades físicas de un compuesto. Ellos son:

- La resistencia a la tensión está dada, en megapascales, por la fórmula:

$$R = \frac{F}{A}$$

Donde:

F: fuerza de ruptura

A: área de la sección transversal inicial.

- Alargamiento a la rotura está dado por la fórmula:

$$A = \frac{(L - L_0)}{L_0} \times 100$$

Donde:

L: longitud entre marcas a la ruptura.

L₀: Longitud inicial entre marcas.

En la parte rectilínea central se harán dos marcas paralelas entre sí y perpendiculares a los bordes, de una anchura máxima de 0,5mm, separadas una de otra 20mm y colocadas de forma que sean simétricas respecto al eje central de la probeta. La forma de marcar estas señales será tal que no altere la superficie de la probeta, no modifique las características del caucho y sean visibles durante todo el ensayo. Vale la pena recalcar que el equipo empleado en el laboratorio nos permite obtener directamente el valor requerido.

1.2.1.2 MÓDULO

Es la tensión necesaria para estirar la probeta hasta un valor determinado que, en la inmensa mayoría de los casos, se fijan en 300% respecto de la longitud original. El módulo está relacionado, para una dada formulación, con la densidad de entrecruzamiento, esto es, con el número de puentes de vulcanización que se formaron en la unidad de volumen.

Por lo tanto su valor no solo dependerá del tipo de sistema de vulcanización sino también del tiempo y temperatura de cura. Además el reforzado del caucho con cargas tiene una marcada influencia sobre esta propiedad, no sólo con el tipo de carga sino con la cantidad existente en la formulación.

1.2.1.2.1. PARÁMETROS DE ROTURA (T_r Y E_r)

Si continuamos estirando más allá del 300%, en el punto R de la figura anterior sobreviene la rotura de la probeta. El valor de la *última tensión* T_r se denomina *resistencia a la tensión* o simplemente carga de rotura y el de la última elongación E_r , se designa como elongación de rotura o *alargamiento a la rotura*, que es el alargamiento que alcanza la probeta en el momento de su rotura, expresándose como porcentaje de la longitud original.

Las probetas utilizadas en el ensayo son las mismas que se utilizan para medir el módulo.

Durante el ensayo se sigue continuamente, mediante una escala auxiliar, la separación entre las marcas en referencia.

La resistencia a la tensión de un compuesto es la propiedad muy sensible a la estructura microscópica del material: pequeñas variaciones en el grado de dispersión de la mezcla, que no influyen tanto sobre otras propiedades, producen en este caso un notable efecto sobre la ocurrencia y sobre la forma de rotura del material, que falla en los puntos más débiles del mismo.

En el elastómero vulcanizado hay siempre una distribución de longitudes moleculares. Cuando la probeta se estira, las cadenas más cortas son las que se rompen primero, luego las cadenas algo más largas, etc. Finalmente sólo unas pocas moléculas aguantan el esfuerzo hasta que en la elongación E_r sobreviene la rotura de la probeta. La adición de cargas reforzantes permite una distribución más uniforme del esfuerzo del manera que un número mayor de cadenas del elastómero soporta la tensión hasta el final, el resultando dará así una mayor resistencia a la tensión. Este efecto es mucho

mayor en los cauchos amorfos que en los cristalinos y el aumento de carga de rotura es más significativo cuanto menor sea el tamaño de las partículas de la carga reforzante.

El alargamiento a la rotura decrece con el incremento del grado de entrecruzamiento, es decir, es un parámetro que varía inversamente al módulo del compuesto. Entonces, ambas propiedades caracterizan básicamente a la elasticidad del material: mientras un incremento del módulo implica un aumento de la rigidez del compuesto (no siempre de su dureza), altas elongaciones de rotura corresponden a los compuestos más flexibles.

1.2.1.2.2 CÁLCULOS

El módulo está dado, en megapascales, por la fórmula:

$$M = \frac{F}{A}$$

Donde:

F: fuerza de tracción

A: área de la sección transversal inicial.

1.2.1.3 DUREZA

Esta propiedad es quizás una de las más empleadas para caracterizar un compuesto y se la puede definir como un módulo de comprensión a baja deformación. Es la resistencia a la penetración de una punta rígida llamada indentor en la masa de un compuesto, bajo la aplicación de una fuerza o peso definido, donde la medida de dureza vendrán dados en Shore.

Dado que la mayoría de los materiales elastómeros presentan deformaciones que dependerán del tiempo, es importante recalcar que la determinación de la dureza dependerá del tiempo de aplicación de la fuerza mencionada. Además el espesor del material a medir influye sobre los valores obtenidos. Estas dos últimas consideraciones se deberán estandarizar si se quieren lograr valores de dureza comparativos y objetivos.

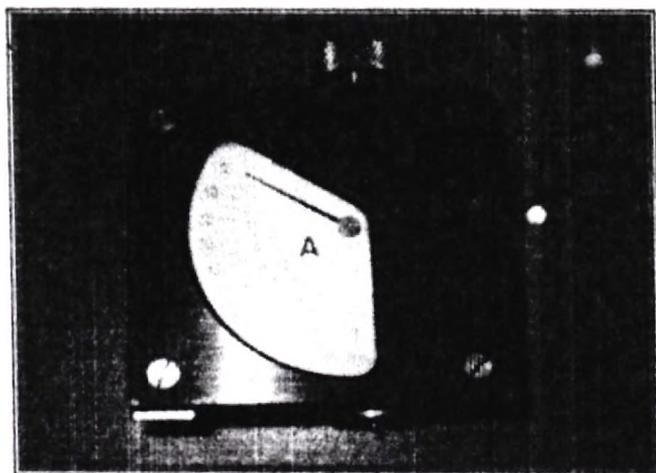
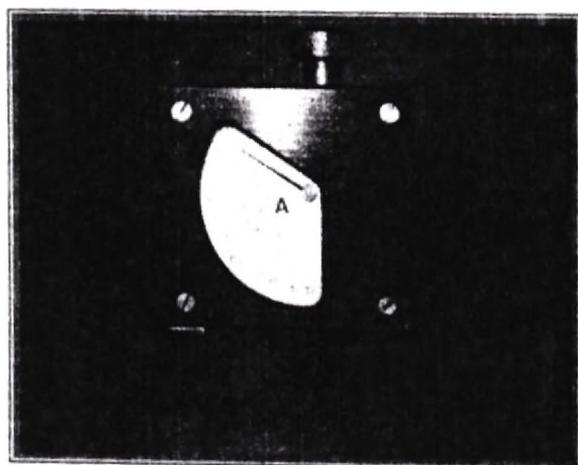


Figura 1.7. Durómetro

La medición se realiza con dos tipos de durómetro, ambos con muelles calibrados para aplicar fuerza al indentador.

El Durómetro A se emplea para materiales más blandos y el Durómetro D, para materiales más duros.



Se coloca la muestra en el durómetro, se aplica el pie de presión sobre la misma y, transcurridos 15 segundos, se lee la escala del dispositivo indicador.

Figura 1.8. Aplicación del durómetro

Los números de la escala aparecen en términos de unidades que van desde 0 para una penetración total de 2,5mm hasta 100 para una penetración nula.

Los valores Shore oscilan:

- Entre 10 y 90 para Shore A - materiales blandos.
- Entre 20 y 90 para Shore D - materiales duros.

Cuando se obtiene valores superiores a 90 A, el material es demasiado duro y hay que utilizar el durómetro D.

Cuando se obtiene valores inferiores a 20D el material es demasiado blando y hay que utilizar el durómetro A.

1.2.1.4. ABRASIÓN.

La abrasión de un compuesto es un complejo fenómeno que está estrechamente vinculado a una serie de procesos combinados (mecánicos, térmicos, químicos) influyendo, obviamente además de la formulación, el diseño y los métodos de fabricación utilizados para elaborar el artículo.

Podemos definir abrasión como un proceso que implica el desprendimiento de pequeñas (generalmente microscópicas) partículas de la superficie. La abrasión comienza con un desgarramiento tangencial del material que desprende finalmente la partícula.

El contacto entre el compuesto y la superficie abrasiva es específico, es decir, se produce en determinados puntos cuyo tamaño y número depende de la *rugosidad* de las superficies en cuestión y de la magnitud de las presiones de apoyo.

Este concepto se esquematiza en la siguiente Figura 1.9.:

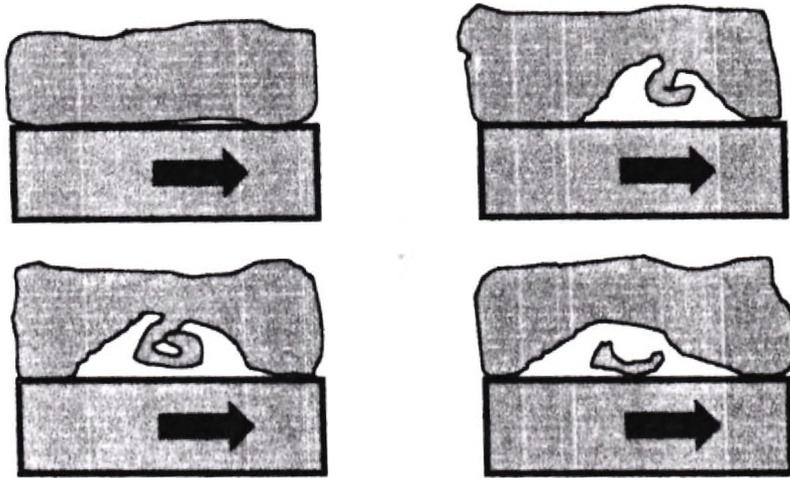
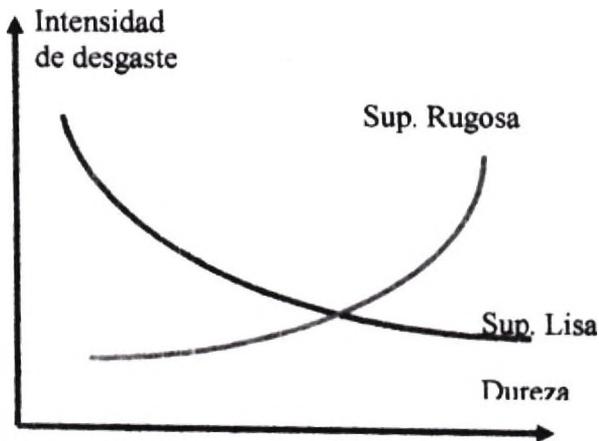


Figura 1.9. Proceso de abrasión

El proceso de abrasión, tiene lugar en el área de contacto entre las dos superficies y su magnitud depende de la severidad de los factores que directa o indirectamente la producen: carga, velocidad, temperatura, rugosidad de la superficie.

Las propiedades del compuesto tienen gran influencia sobre el proceso de desgaste, especialmente la dureza pero con distinto efecto según sea la rugosidad de la superficie abrasiva.



En el caso de alta rugosidad, un incremento de dureza proporciona alta concentración de esfuerzos en las irregularidades de la superficie del compuesto

Figura 1.10. Intensidad de desgaste · dureza

acelerando así su desgaste por desgarres localizados.

Con la superficie lisa, en cambio, al aumentar la dureza se mejora la resistencia a la fatiga y por lo tanto la intensidad del desgaste disminuye. En este último caso el proceso es además acelerado por las altas temperaturas desarrolladas, que causan la oxidación térmica del compuesto.

Con este análisis se concluye que al existir mecanismos de desgaste tan distintos, el diseño de un compuesto debe contemplar perfectamente las condiciones de uso para mejorar la resistencia a la abrasión con un resultado satisfactorio. De este conocimiento surgirá la elección adecuada del tipo o tipos de polímeros, y el sistema de carga y el nivel de plastificante que se deberá utilizar para lograr el objetivo deseado.

Para el desarrollo de este ensayo disponemos de un probador de abrasión

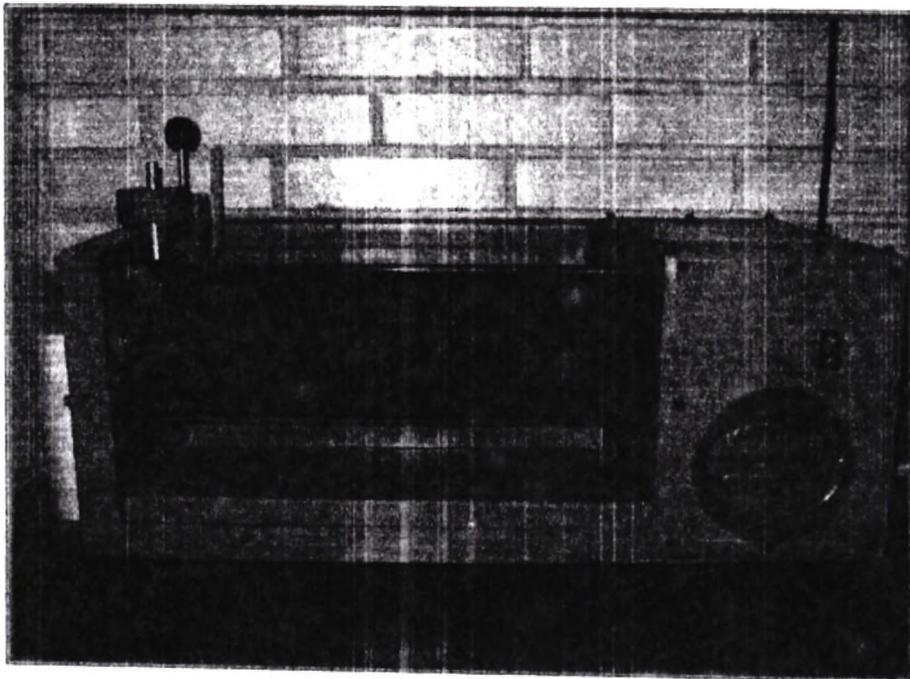


Figura 1.11. Abrasímetro

que fue construido en la propia empresa, siguiendo las especificaciones de la norma ISO 4662, y el procedimiento es el siguiente:

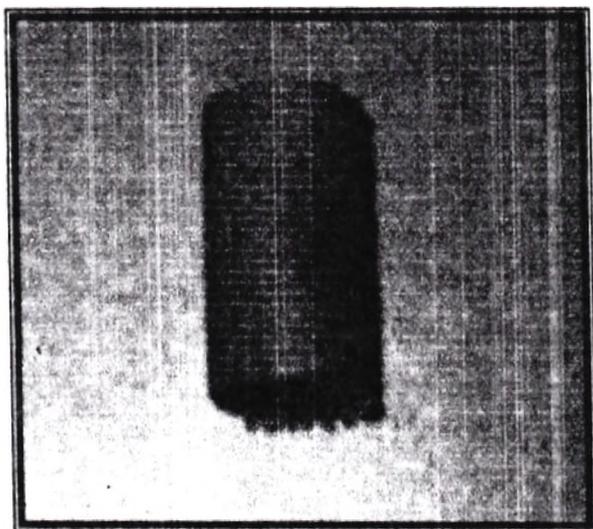


Figura 1.12. Cilindro de ensayo

La muestra se monta en un cilindro giratorio de 150mm de diámetro, que gira a una velocidad de 0.32m/sg. recorriendo 40m. Se aplican cargas en forma de pesas (1kilo) que empujan a la muestra sobre un papel abrasivo que cubre el cilindro.

Tras un número de ciclos determinados (40r.p.m.), se detiene el ensayo. La masa de pérdida por abrasión se determina pesando la muestra al final, definiéndose como la masa de fragmentos de la pieza de ensayo que se han ido desprendiendo y su valor se indica en mg/1000ciclos.

1.2.1.4.1. CÁLCULOS.

Se determina la pérdida en peso de las ruedas patrón y las ruedas de ensayo para cada ciclo, y se convierte a volumen, teniendo en cuenta el peso específico de los compuestos.

Una vez determinados los volúmenes se saca el promedio para las ruedas de ensayo, y se calcula el índice de abrasión según la siguiente fórmula:

$$IA = \frac{V_P}{V_E} \times 100$$

Donde:

IA: índice de resistencia a la abrasión

V_P: pérdida de volumen de la rueda patrón

V_E: pérdida de volumen de la rueda de ensayo

1.2.1.4.1.1. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES.

Se toma el peso inicial de la rueda, luego realizamos el ensayo en el equipo de abrasión, obteniendo un peso final. La diferencia entre los dos será la pérdida de masa de la muestra. Por lo tanto la pérdida de volumen será:

$$V = \frac{\text{pérdida de masa}}{\text{densidad de la mezcla}}$$

1.2.1.4.1.2. CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LA MEZCLA.

Para calcular la densidad de la mezcla, necesitamos conocer los datos de las densidades individuales de todos los compuestos de la formulación.

MATERIAL	DENSIDAD
C. NATURAL	0,92
C. NITRILICO	0,99
NEGRO DE HUMO	1,80
RUBERSIL	2,00
CAOLIN	2,60
OXIDO DE HIERRO	5,10
PROPILENGLICOL	1,06
ACEITE	
AROMATICO	1,00
ACIDO ESTEARICO	0,85
OXIDO DE ZINC	5,59
VULCANOX	1,16
TMT	1,37
CBS	1,28
AZUFRE	2,07

Tabla 1.1. Densidades de compuestos

En la tabla 1.1. se dispone de los valores de densidad de cada material que vamos a utilizar:

La densidad de la formulación se calcula finalmente con la expresión:

$$\delta = \frac{\sum p_{HR}}{\sum \frac{p_{HR}}{\text{DENSIDAD}}}$$

Donde:

Σp_{HR} = sumatoria de partes por 100 de polímero. Este término trataremos más profundamente en el capítulo 4.



CAPITULO II

CAUCHO NATURAL

2. CAUCHO NATURAL

2.1. OBTENCIÓN DEL CAUCHO NATURAL

El caucho se obtiene del árbol *Hevea Brasiliensis* por medio de un tratamiento sistemático de "sangrado", que consiste en hacer un corte en forma de ángulo a través de la corteza profundizando hasta el cambium. Una pequeña vasija que cuelga en el tronco del árbol para recoger el látex, que es un jugo lechoso que fluye lentamente de la herida del árbol.

El látex contiene 30 a 36% del hidrocarburo del caucho, 0.30-0.7% de cenizas, 1-2% de proteínas, y 2% de resina, contiene también una cantidad pequeña de compuestos de potasio, magnesio, fósforo y trazas de cobre y manganeso; estos últimos metales se llaman venenos del caucho, son indeseable porque favorecen con su presencia los procesos de envejecimiento. La composición del látex varía en las distintas partes del árbol; generalmente el porcentaje de caucho (hidrocarburo) decrece del tronco a las ramas y hojas. La época del año afecta a la composición del látex, así como el tipo de suelo y la línea o casta del árbol.

El caucho es una secreción irreversible o producto de desecho del árbol, y cuanto más se extrae, más regenera la planta. El caucho es

producido en el protoplasma por reacciones bioquímicas de polimerización catalizadas por enzimas.

El látex fresco es transformado en caucho seco tan pronto como sea posible después de la recolección.

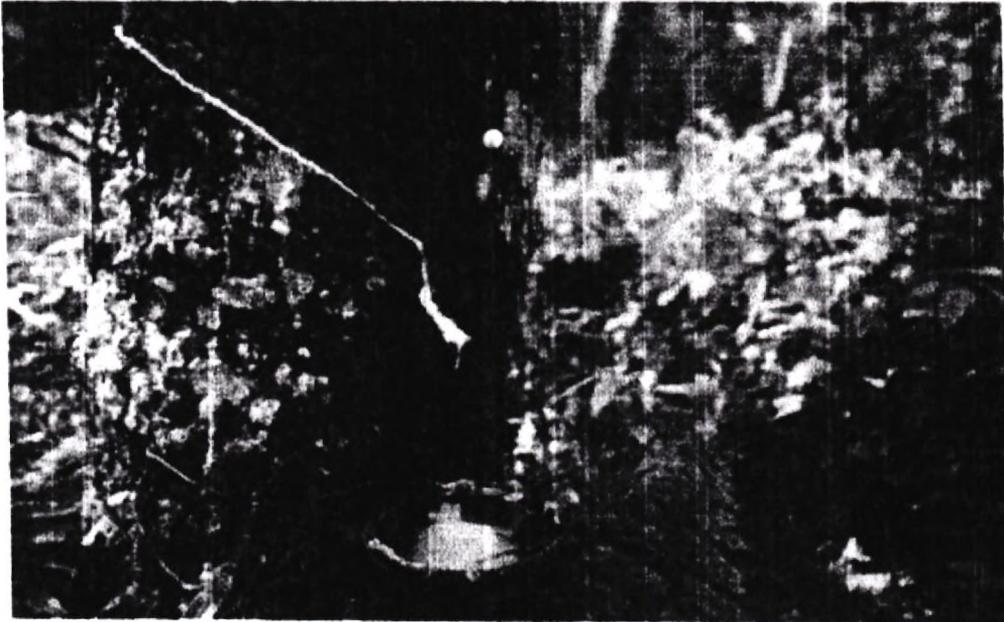


Figura 2.1. Arbol Hevea Brasiliences

Primeramente, se cuele por un tamiz de lámina perforada para eliminar partículas de hojas y corteza. En seguida se diluye de su concentración de 30-35% de caucho a un título aproximado de 12%. Algunas plantaciones usan un hidrómetro especial llamado Metralac, que determina el contenido sólido del látex sin realizar el ensayo por evaporación. Después de la dilución, se deja el látex en reposo un corto tiempo para que las materias no separadas por el tamiz (arena y cieno) se sedimenten. Entonces está dispuesto para la coagulación.

El ácido fórmico está considerado como el mejor de los coagulantes para el caucho natural, pero el ácido acético se usa también mucho. Otros ácidos, el alumbre ordinario y el alumbre de amonio han sido usados como coagulantes.

La cantidad de ácido requerida, depende del estado de los árboles y de las condiciones climáticas. Los árboles jóvenes dan un látex inestable y durante la sangría ha de añadirse al mismo algo de amoníaco para asegurar su estabilidad hasta su manufactura. Este amoníaco ha de tomarse en cuenta al determinar la cantidad de ácido necesario. El látex de árboles grandes, que no ha recibido amoníaco, necesita 40ml de ácido fórmico (90%) por cada 100 litros de látex (con 12% de sólidos). El ácido de 90% se diluye en agua hasta una concentración de 4% y se mezcla muy bien con el látex. El volumen de ácido debe controlarse cuidadosamente, pues el exceso impide la coagulación. En intervalo de pH de 5.05 a 4.77 está en el punto isoelectrico en que se efectúa la coagulación del caucho. Dicho intervalo se denomina también primera zona de sólido.

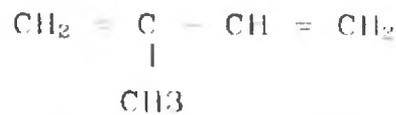
El caucho natural que utilizaremos en nuestro estudio nos provee PROCAESA, el mismo que es obtenido de las plantaciones de Santo Domingo de los Colorados y cumple con las siguientes especificaciones:

❖ Contenido de impurezas, %	0.229
❖ Contenido de cenizas, %	0.312
❖ Contenido de cobre, p.p.m.	3.48

❖ Contenido de manganeso, p.p.m.	5.47
❖ Contenido de nitrógeno, %	0.37
❖ Extracto acetónico, %	3.08
❖ Materia volátil, %	0.35
❖ Gravedad específica, gr/cc.	0.93

2.2. ESTRUCTURA QUÍMICA

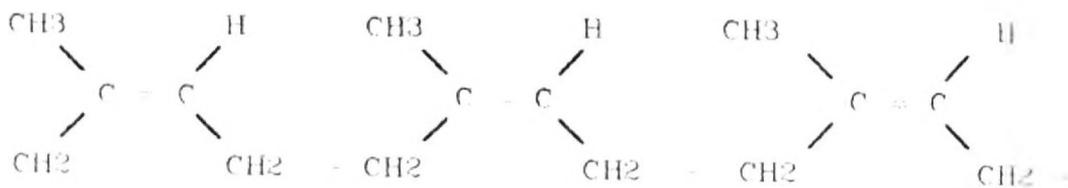
La molécula básica del caucho es el isopreno, o sea el C₅H₈, cuya fórmula desarrollada sería:



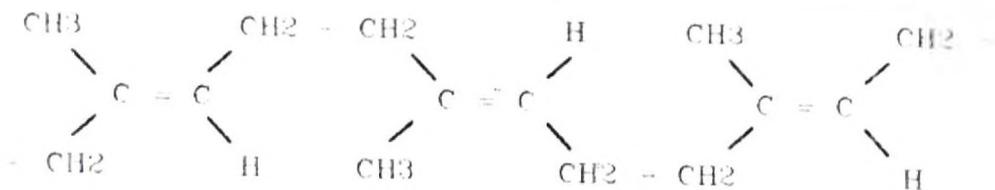
y un polímero del isopreno sería la unión de dos o más moléculas del mismo, formándose así el caucho y la gutapercha.

La diferencia entre el caucho y la gutapercha, no es más que, la posición de las moléculas en el espacio, que adoptan una posición cis en el caucho y trans en la gutapercha. La fórmula desarrollada de estos polímeros, es la siguiente:

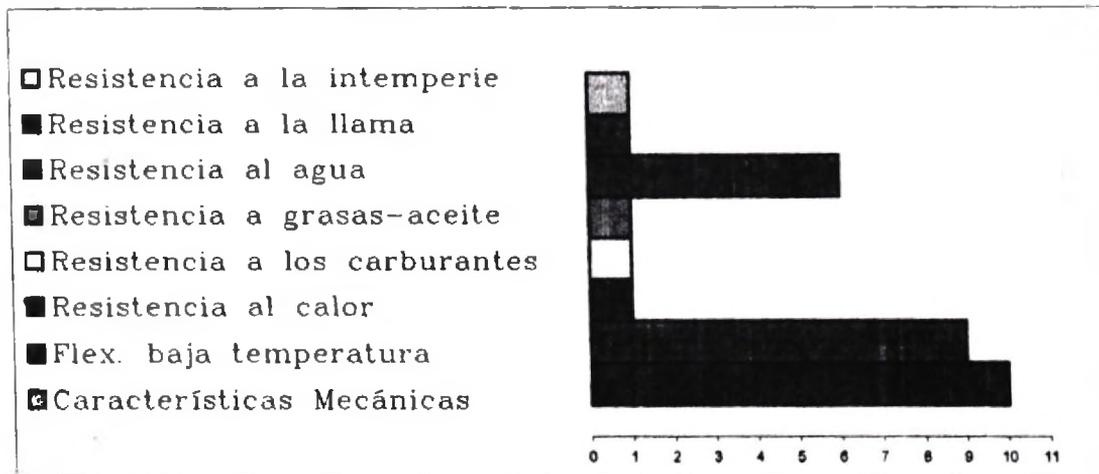
El caucho es un cis-1,4-polisopreno.



Y la gutapercha es un trans-1,4-polisopreno.



2.3. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS



muy deficiente = 1

extraordinario = 11

Gráfica 2.1. Propiedades

El caucho bruto calentado hasta 200°C. se ablanda y sus soluciones tienen menor viscosidad, pero el número de dobles enlaces se conserva sin alteración. Cuando la temperatura se eleva hasta 250°C., los enlaces dobles se separan y tiene lugar la formación de anillos. El cambio a caucho cíclico eleva la densidad y la solubilidad, el producto obtenido es una dura y frágil resina.

Las propiedades físicas del caucho bruto varían con la temperatura. A bajas temperaturas, se vuelve rígido, y cuando se congela en estado de extensión adquiere estructura fibrosa. Calentando a más de 100°C., se ablanda y sufre alteraciones permanentes. El caucho bruto adquiere gran deformación permanente debido a su naturaleza plástica. La plasticidad del caucho varía de un árbol a otro y depende de: la cantidad de trabajo dado al caucho desde el estado látex, de las

bacterias que lo acompañan e influyen en su oxidación y de otros factores.

Cuando el caucho bruto ha sido estirado y deformado durante algún tiempo, no vuelve completamente a su estado original. Si entonces se calienta, la recuperación es mayor que a la temperatura ordinaria. Este fenómeno se denomina deformación residual o estiramiento permanente y es propio del caucho.

El caucho bruto absorbe agua. Los coagulantes usados en el látex al preparar el caucho afectan al grado de absorción de agua; usando ácido clorhídrico, sulfúrico o alumbre se obtienen cauchos con poder de absorción relativamente elevado. El poder de absorción de agua del caucho purificado es muy bajo.

Gran variedad de sustancias son solubles o pueden dispersarse en caucho bruto, tales como el azufre, colorantes, ácido esteárico, N-fenil-2-naftilamina, mercaptobenzitiazol, pigmentos, aceites, resinas, ceras, negro de carbono y otras.

El efecto deteriorante de luz y el calor sobre el caucho se conoció antes del descubrimiento de la vulcanización.

2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

2.4.1. VENTAJAS

- ❖ Elevada resistencia mecánica.- Debido al fenómeno de cristalización (atracción intermolecular), el elastómero no requiere ser reforzado con grandes cantidades de cargas para dar altos valores de propiedades mecánicas. Los mejores valores de carga de rotura, se consiguen con negros de partículas

finas, en un rango de dureza del orden de 60, con los que se logran valores de hasta 300Kg/cm². Un exceso de carga puede disminuir la carga de rotura debido a un efecto de dilución; si no hay suficiente caucho para mantener juntas a las partículas de negro de humo, la resistencia a la tracción cae bruscamente.

- ❖ Gran pegajosidad en crudo.
- ❖ Alta velocidad de cura.
- ❖ Buena compatibilidad con otros cauchos.
- ❖ Deformable en todas las direcciones.
- ❖ Resistente a la fatiga.
- ❖ Resiliente.
- ❖ Resistente a la abrasión.
- ❖ Buenas propiedades eléctricas.
- ❖ Buena elasticidad en frío.

2.4.2. DESVENTAJAS:

- ❖ Mala resistencia a grasas, aceites, gasolinas y disolventes.
- ❖ Mala resistencia a la intemperie.
- ❖ Mala resistencia al calor.
- ❖ Fácilmente inflamable.
- ❖ Pobre resistencia al envejecimiento.
- ❖ Pobre resistencia al ozono.

CAPITULO III

COMPONENTES DE LA MEZCLA

3. FORMULACION

El dato fundamental para calcular de un compuesto, para mezclar en un molino es la *capacidad* con que se trabajará, es decir, que peso de mezcla se producirá. Este valor dependerá de las dimensiones del equipo. Una vez obtenido este dato los pesos estimados de cada materia prima se calculan aplicando sus porcentajes en peso directamente a la capacidad del molino.

Este punto lo trataremos más detenidamente en el capítulo 4 y 6, donde explicaremos los cálculos y el desarrollo para la obtención de la fórmula base respectivamente.

3.1. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL ELASTÓMERO.

Se entienden por componentes del elastómero todas aquellas sustancias que se añaden al caucho virgen para ablandarlo, endurecerlo, vulcanizarlo, etc.; en fin, todo lo que se adiciona al caucho para adaptarlo mediante el proceso de vulcanización, al uso al que se debe aplicar. Se puede definir como carga toda sustancia distinta del caucho en cualquier mezcla del mismo.

Desde luego muchos son los productos que se pueden adicionar en un cilindro mezclador al caucho virgen para conseguir fines específicos.

Para nuestro estudio utilizaremos una fórmula base propuesta por nosotros, la misma que estará compuesta por:

- Carga reforzante o activas.
- Acelerante.
- Vulcanizante.
- Antioxidantes.
- Activadores.
- Carga diluyente o inertes.
- Plastificantes.

Las mezclas estarán basadas en diferentes dosificaciones de carga y plastificante, para identificar la variaciones en sus propiedades físicas.

3.1.1. CARGA REFORZANTE

Podríamos definir las cargas reforzantes diciendo que son aquellas que proporcionan a los vulcanizados un aumento de valores en el módulo, resistencia al desgarre y resistencia a la abrasión.

El refuerzo de estos valores se ha venido observando a partir del empleo de oxido de zinc, pero la mayor importancia tuvo al ser observada esta cualidad en los negros de humo de pequeña partícula. El refuerzo de una carga depende del tamaño de las partículas que la componen. A menor tamaño de la partícula, mayor refuerzo, y siendo así, y teniendo en cuenta que el tamaño de la partícula está en razón inversa de su

superficie, dicho refuerzo está íntimamente relacionado con la interfase entre el polímero y el materia que lo acompaña. Por otra parte la disminución de propiedades, cuando la carga alcanza unos valores determinados, se debe a una simple dilución de efectos, debido a la disminución de la fracción volumétrica del polímero por unidad de mezcla, llegando a un punto en la proporción en que el compuesto se vuelve frágil y la fuerza de tensión es nula. El máximo de los valores en cada una de las propiedades del vulcanizado depende de la naturaleza de la carga y del tamaño de su partícula.

3.1.1.1. NEGRO DE HUMO

Con la aplicación del negro de humo se consigue mejorar los módulos y una importante mejora en el refuerzo de los vulcanizados.

Los negros de humo constituyen el producto de la combustión o descomposición térmica de hidrocarburos líquidos o gaseosos. Son esencialmente agrupaciones de moléculas de carbono elemental, formando partículas de estructura grafitica.

Las propiedades más importantes del negro de humo son:

- *El tamaño de partícula.*— No constituyen unidades individuales, sino que están agrupadas, formando racimos, tanto más uniformes cuanto más pequeñas sean las partículas, pero su capacidad de refuerzo en el caucho, no está dado por el tamaño de los racimos, sino, por el de las

partículas que lo componen. El negro de humo ha utilizar tiene una superficie específica de 70 - 90m²/gr.

- ↳ *Naturaleza física de la superficie.* - Los negros de humo con poco poder reforzante tienen en su primer nivel partículas formando capas planas, a diferencia de los negros reforzantes, cuyos agregados son irregulares, sin ninguna orientación cristalina en las partículas. Es muy posible, que la naturaleza de los átomos de carbono de la superficie de las partículas sea la causa de su poder reforzante. Los átomos de carbono de la superficie, aunque sean no reactivos, constituyen la parte esencial de las capas planas, serán más reactivos si están unidos a un hidrógeno que den resonancia a la estabilidad del radical libre.
- ↳ *Naturaleza química de la superficie.* - Químicamente, los negros de humo, están constituidos en un 90% a 99% por carbono elemental y el resto, lo componen en su mayor parte oxígeno e hidrógeno combinados. El hidrógeno proviene del hidrocarburo quemado, y el oxígeno es adquirido en el reducido espacio de la combustión. El hidrógeno se encuentra distribuido por toda la masa del negro, y el oxígeno queda confinado en la superficie.
- ↳ *Porosidad de las partículas.* - Son debidas a que no son lisas, como consecuencia de

que a alta temperatura, los gases oxidantes que se forman inmediatamente antes de su formación lo impiden. La oxidación tiene lugar en los átomos no grafíticos, y al progresar en las partículas, dan lugar a la formación de poros.

3.1.1.2. RUBBERSIL.

Que es básicamente dióxido de silicio precipitado, esta es una carga blanca, la cual utilizaremos para el caucho nitrílico en conjunto con el caolín. Al utilizar estas cargas blancas la función que cumplen los acelerantes se pierden, por lo que tendremos que añadir obligadamente a la mezcla propilenglicol, ya que con este logramos la acción de los acelerantes en la mezcla.

3.1.2. ACELERANTES.

Se da el nombre de acelerantes a todos los productos que se adicionan a una mezcla de caucho para disminuir el tiempo de vulcanización, pero la acción de los acelerantes no se reduce solamente a esto, sino que produce una serie de modificaciones en la goma en el sentido de hacerla más apta para determinados usos. Al mismo tiempo, con el empleo de los acelerantes, se disminuye la proporción de azufre en las mezclas.

El caucho virgen, como todo producto de origen natural, no tiene una constitución química definida y exacta en todos los casos; pero si, además de ser un producto natural, varían el

sistema de recolección el tratamiento posterior con el cual es adaptado a un tipo comercial, en este caso las condiciones de vulcanización variarán considerablemente entre dos tipos de diferentes procedencias, es decir que la relación de vulcanización varía sensiblemente entre los dos tipos. Los acelerantes tienden a normalizar estas diferencias, a fin de obtener con cualquier tipo de caucho el mismo producto.

3.1.2.1. TMT Y CBS

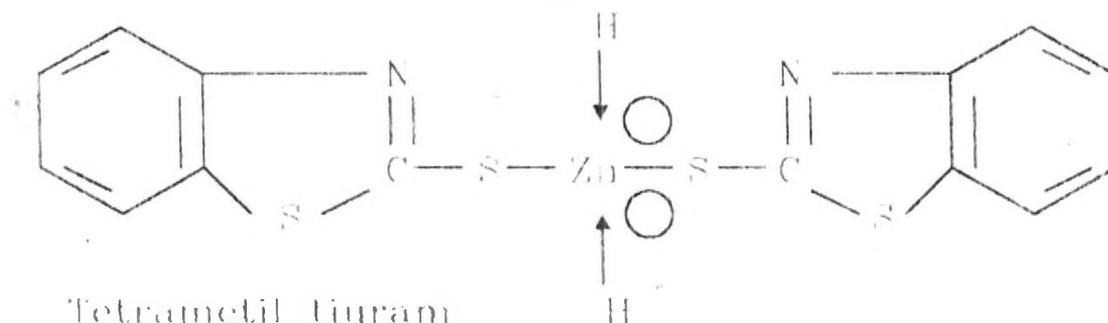
Tanto el tetrametil tiuram y el N-ciclohexil-2-Benzotiazol Sulfenamida industrialmente tienen una característica de acción retardada. El concepto de acción retardada crea una especie de contradicción en el rol de un acelerante, por un lado deseamos que la velocidad de vulcanización no sea muy alta como para que el compuesto no prevulcanice en los procesos; por el otro necesitamos que si sea alta, para tener tiempos de prensa bajos.

El azufre disponible para vulcanizar se encuentra en forma de anillos de ocho átomos de azufre, y como sabemos la vulcanización se produce cuando este anillo se rompe.

El anillo de ocho átomos de azufre se puede romper de dos maneras:

- ▣ Con la temperatura.
- ▣ Químicamente, con la acción de los acelerantes activados por el óxido de zinc.

En efecto si tomamos el acelerante TMT, que tiene un enlace bastante resistente a la temperatura, para que la vulcanización comience, este enlace se debe romper. Recién allí los trozos moleculares restantes se combinan con el zinc (que provienen de la interacción de los activantes óxido de zinc -ácido esteárico) para formar un complejo químico llamado dipolo.



Finalmente las dos cargas eléctricas del dipolo son transferidas al anillo S₈ en uno o más lados, y por este efecto, el anillo se abre en fragmentos disponibles para realizar el entrecruzamiento de las moléculas del caucho.

La acción retardada de un acelerante se refiere a la capacidad que tiene este en iniciar todo este proceso.

3.1.3. VULCANIZANTE

Entendemos como vulcanizantes aquellos elementos que sirven de núcleo de unión para formar los puentes intermoleculares. El principal en todos los aspectos es el Azufre, seguido por el Oxígeno.

3.1.3.1. AZUFRE.

Puede ser proporcionado al elastómero en forma elemental o combinada, siendo la única diferencia entre ellos, el número de átomos de azufre que dan lugar a cada puente intermolecular formado en la vulcanización.

El azufre elemental es el que da la mayor proporción de puentes, de cinco a ocho átomos de azufre, y los dados de azufre dan la mayor proporción de puentes de uno y dos átomos de azufre.

Las proporciones de azufre en las mezclas están en función de varios factores:

1. El número de puentes que es capas de efectuar el elastómero del que se trate. Cuanto menor sea el número de dobles enlaces menos cantidad de azufre se necesitará y en consecuencia se obtendrá una mayor resistencia al envejecimiento del vulcanizado.
2. En la cantidad de carga que contenga la mezcla y dureza exigida a la misma.

En la acción de vulcanización del azufre hay que tener en cuenta dos puntos principales:

1. Que la reacción de vulcanización será tanto más rápida cuanto mayor proporción de azufre tenga la mezcla.
2. Que no se combina en la vulcanización totalmente el azufre que contiene, por lo tanto, siendo siempre igual a la proporción de azufre libre y combinado, a mayor proporción de azufre que contenga

la fórmula, mayor cantidad de azufre libre quedará en el vulcanizado, cosa que hay que tener muy en cuenta al tratar del envejecimiento de la misma.

3.1.4. ANTIOXIDANTES

El caucho en estado natural de látex, y en sus laticíferos se mantienen sin degradarse, en parte por los conservadores naturales que lo acompañan y en parte por estar aislado por la acción del aire. Una vez extraído y en forma de caucho seco, sufre la acción del oxígeno del aire principalmente, aunque es sumamente lenta. No así, cuando se da el proceso de masticación para la elaboración de las mezclas, surge la acción degradante del oxígeno, ayudado por el calor y la acción mecánica de los rodillos. Esta acción cuyo mecanismo se conoce en la actualidad se inicia con el ataque del oxígeno sobre el carbono α -metilénico de la cadena de la que se extrae un átomo de hidrógeno, iniciándose así una reacción de oxidación en cadena que rápidamente se propaga autocatalíticamente, es decir poco oxígeno produce una fuerte degradación.

La acción del antioxidante tiene por función romper esta reacción autocatalítica en cadena, bien sea capturando los radicales libres formados, o bien evitando la acción de los peróxidos e hidroperóxidos que producen la degradación del polímero, y por tanto la iniciación de formación de radicales libres capaces de propagar la reacción en cadena antes indicada. En consecuencia es necesario una

cantidad suficiente de antioxidante para bloquear los puntos de ataque por la oxidación.

Varios son los factores que dan lugar a la oxidación del caucho provocando el inicio de la misma tal como se ha indicado. Estos factores son:

- ❖ El oxígeno
- ❖ El ozono
- ❖ El calor
- ❖ La luz
- ❖ La fatiga por flexión
- ❖ Y la acción catalítica de ciertos metales.

3.1.4.1. VULCANOX DS/F.

Este es un antioxidante que tiene un efecto protector contra la fatiga y el envejecimiento y no altera el color y este utilizaremos en nuestro análisis.

3.1.5. ACTIVADORES

La inmensa mayoría de los compuestos tienen sistemas de vulcanización activados por la presencia de ingredientes *óxido de zinc y ácido esteárico*. El verdadero activante es el óxido, que es conocido que su presencia es necesaria para que la vulcanización se lleve a cabo, por lo menos en las condiciones y con los resultados deseados o requeridos.

Sin el óxido de zinc, se consigue tan sólo un escaso nivel de reticulación y los vulcanizados alcanzan muy pobres valores de resistencia mecánica, con una marcada tendencia a la reversión.

Usando unas 3 ó 4 pHR de óxido de zinc se logran desarrollar buenos valores de módulo, bajo compresión y una aceptable resistencia a la reversión.

El ácido esteárico cumple el rol de solubilizar al óxido de zinc, separando el zinc que es el que en definitiva activará al sistema de cura. Si se excede de la cantidad que normalmente se usa, se puede experimentar algunos problemas colaterales, como por ejemplo una disminución en la adhesión en crudo o pegajosidad del compuesto, un retardo en la velocidad de cura y un empeoramiento de los valores de adhesión goma - metal.

3.1.6. CARGA DILUYENTE

Los negros de humo en su amplia variedad de tipos disponibles, constituyen la carga por excelencia de los elastómeros, pero presentan dos inconvenientes: restringen el color de los vulcanizados al negro solamente y confieren características marcantes o manchantes. Si bien las cargas claras no alcanzan en general a lograr las propiedades de los compuestos cargados con negro de humo, permiten en cambio la producción de gomas de color, no manchantes y de menor costo.

Desde el punto de vista del reforzado, las cargas claras se clasifican dos grandes grupos:

- ❖ Cargas activas o reforzantes
- ❖ Cargas inactivas, inertes o diluyentes.

Se dice que una carga es *activa* cuando:

- ❖ Aumenta la resistencia a la tracción
- ❖ Aumenta la resistencia a la abrasión
- ❖ Aumenta la resistencia al desgaste.

También su utilización permite aumentar el módulo y dureza del compuesto pero con una disminución de su elasticidad. Las cargas inertes se usan principalmente para abaratar los compuestos, aumentar de dureza, pero en este caso no es tan pronunciado como en el caso de las activas.

3.1.6.1. CAOLÍN.

Es una carga de un costo relativamente bajo, pero a diferencia de los carbonatos produce un alto efecto de rigidez sobre los módulos y durezas de los vulcanizados.

El caolín puede definirse como una arcilla derivada de la composición natural de minerales de aluminio tales como el feldespato y la mica.

Los caolines usados en caucho se clasifican en duros y blandos, y esta clasificación no tiene relación con la formación geológica o con la composición química sino con el tamaño de partículas que tendrá una incidencia directa con la capacidad de reforzado.

El efecto sobre el módulo varía considerablemente según los diferentes tipos. Los duros proporcionan mayor rigidez a los compuestos ya que contienen tamaños de partículas entre 0.1 - 1.0 micras. Los blandos tienen valores de resistencia a la abrasión menores, y también producen menor rigidez en los compuestos donde se utilizan.

3.1.7. PLASTIFICANTES

El caucho virgen es un producto duro que requiere un intenso trabajo mecánico, así como una elevación de temperatura conveniente para permitir la adición de las cargas que se precisan para obtener las mezclas deseadas. Los plastificantes son aquellos productos que se adicionan al caucho para conseguir:

1. Reducir la cantidad de trabajo mecánico necesario para ablandar el caucho y ponerlo en las condiciones deseadas para poder incorporar las cargas.
2. Provocar el ablandamiento del caucho a fin de facilitar la adición de las mezclas.
3. Intervenir de una forma activa en la dispersión de las cargas en el caucho.
4. Hacer posible que la adición de las cargas se efectúen normalmente, sin que resulte demasiado elevado el calor interno de la mezcla, lo que daría lugar al fenómeno de prevulcanización.
5. Permitir la obtención de mezclas cargadas que puedan ser trabajadas fácilmente en la calandria o en la budinadora.
6. Conferir a las mezclas las propiedades de adherencia deseables.
7. Mantener la mezcla en un estado de plasticidad que facilite el moldeo a pesar de las cargas.

La acción de los plastificantes no solo prepara la confección de mezclas, sino que influye notablemente en las propiedades del caucho vulcanizado. Su presencia en este se manifiesta

con un descenso en los valores de la curva de rotura y un aumento en la elongación, sea porque retrasa la acción del azufre o bien sólo por su acción de relleno; así, pues, su acción es diametralmente opuesta a las de las demás cargas que se adicionan normalmente a una mezcla de caucho.

3.1.7.1. ACEITE ALTAMENTE AROMÁTICO.

Está formado por cadenas cerradas (bencénicas), y es el que vamos a utilizar en el laboratorio, al variar la dosis de plastificante aromático en las diferentes mezclas con el caucho natural.

Existen en las mezclas, productos que tienen una función plastificante conjuntamente con la específica. En estos casos hay que tener en cuenta las propiedades que estos productos confieren a la mezcla, a fin de que su acción no perturbe el equilibrio de la misma, tal es el caso de ácido esteárico que por ser de carácter ácido, no puede añadirse en alta proporción a las mezclas por el considerable retraso que daría lugar en la vulcanización.

Este también se lo considera importante por facilitar el proceso de mezclado en el molino.

CAPITULO IV

ENSAYOS

4. ENSAYOS

Un compuesto es un conjunto de alrededor de diez materias primas o ingredientes que se vinculan íntimamente con el caucho en la operación de mezclado. Estos ingredientes cumplen las siguientes funciones básicas:

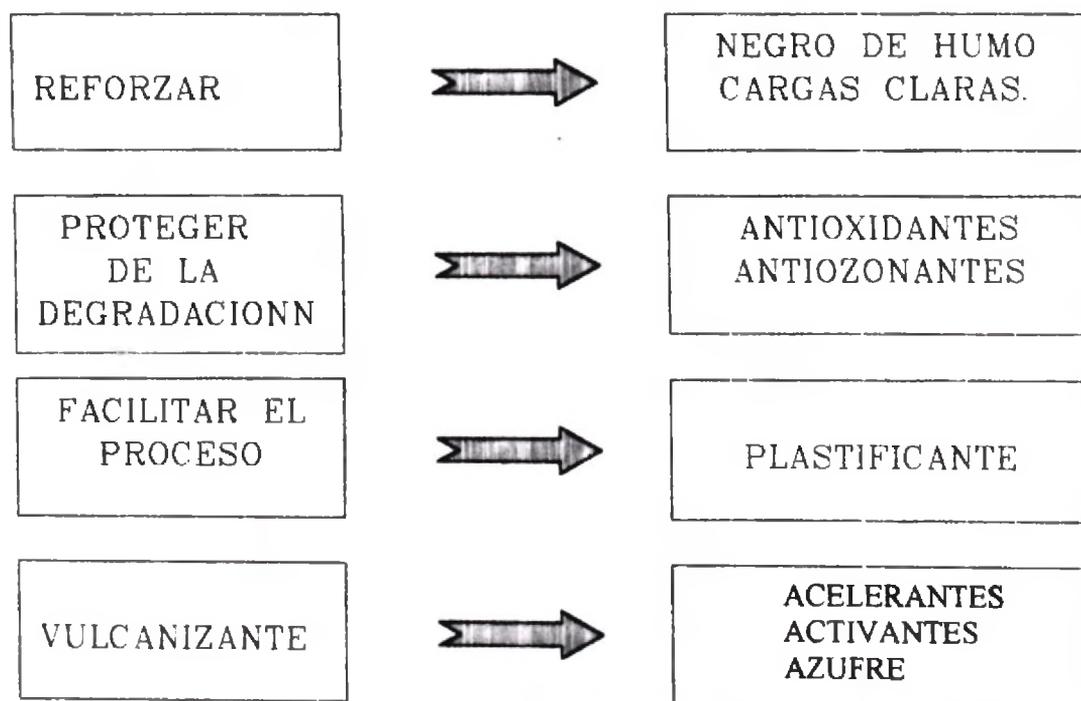


Figura 4.1. Funciones básicas de los ingredientes

Al comienzo un compuesto es una idea: la idea de formular volcada en un papel. Su apariencia es la de una "receta", o composición que muestra las cantidades relativas de todos los ingredientes. Estas cantidades están expresadas

en pHR (partes por 100 de polímero), que es la unidad universal para establecer la formulación de un compuesto de caucho. Cuando se desee producir el compuesto en el equipo mezclador, esta formulación, expresada en pHR se deberá transformar en la fórmula o especificación de mezclado, expresada en Kg. La razón de la utilización de la unidad pHR para formular es que esta tiene como dijimos una generalización universal: toda la bibliografía existente sobre compuestos está expresada en esos términos. Además con ello uno se independiza del tamaño de la mezcla ya que en realidad son cantidades siempre relativas a 100 partes de polímero, no importa si se mezcla en un pequeño molino o en un gigantesco mezclador interno.

Teóricamente, todo compuesto deberá estar formulado para satisfacer tres requisitos esenciales:

- ❖ *Económicos:* No se refiere solo al costo mínimo sino otros aspectos como la estandarización de la materia prima, mínimo número de ingredientes en la formulación y materiales fáciles de adquirir.
- ❖ *Procesabilidad:* Se refiere a la facilidad del procesado con máxima productividad y mínimo defectivo o material no conforme.
- ❖ *Propiedades finales:* Se trata de satisfacer todas las propiedades del compuesto una vez vulcanizado para tener un comportamiento en servicio que proporciona una larga vida útil.

Durante la formulación se pueden presentar 2 tipos de variaciones:

- ❖ *Variaciones accidentales (VA)* Generalmente se presentan como un error de pesada.
- ❖ *Variaciones naturales (VN)* Que son de interpretación más complicada y generalmente se deben a múltiples causas como por ejemplo las variaciones en los lotes de materia prima, comportamiento de las máquinas, en el estilo de diferentes operadores, en variaciones climáticas dentro de la fábrica.

Los conocimientos requeridos para iniciarse en la técnica de formulación de compuestos de caucho, básicamente comprenden lo referente a materias primas, laboratorios de ensayos, equipos y proceso de mezclado y las condiciones de uso con las que va a trabajar el compuesto a desarrollar.

Normalmente un formulador se maneja con la técnica de prueba y error tanteando diversas versiones de una formulación inicial hasta satisfacer todas las propiedades requeridas, costo, procesabilidad, etc.

4.1. VARIACIÓN DE LA CARGA REFORZANTE NEGRO DE HUMO EN LA MEZCLA CON EL CAUCHO NATURAL.

4.1.1. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CARGA.

Las indicaciones para la dosificación de las materias primas en la mezcla con el caucho natural, según el manual para la industria del

caucho que presenta la casa proveedora BAYER son:

Formulación con el caucho natural	
Materias Primas	Rangos pHR
Caucho Natural	100
Negro de Humo	0 - 100
Aceite altamente aromático	0 - 10
Ácido esteárico	2 - 6
Oxido de Zinc	2 - 5
Vulcanox	0,75 - 2
TMT	0,2 - 0,5
CBS	1,5 - 2,5
Azufre	3 - 4

Tabla 4.1. Rangos de materia prima

De acuerdo al cuadro anterior diseñamos la fórmula base:

Materias Primas	pHR
Caucho Natural	100
Negro de Humo	50
Aceite altamente aromático	2
Ácido esteárico	5
Oxido de Zinc	5
Vulcanox	1
TMT	0,2
CBS	1,5
Azufre	3

Fórmula 4.1. Fórmula base

Basándonos en los pHR, calculamos la fórmula base en gramos y porcentaje, de acuerdo a la capacidad del molino, el cual es de 0,5Kg.

Mezcla con caucho natural para 0,5 kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Natural	100	298,2	59,6
Aceite altamente aromático	2	6,0	1,2
Ácido Esteárico	5	14,9	3,0
Oxido de Zinc	5	14,9	3,0
Vulcanox	1	3,0	0,6
Vulcacid TMT	0,2	0,6	0,1
Vulcacid CBS	1,5	4,5	0,9
Azufre	3	8,9	1,8
	167,7	500,0	100,0

Fórmula 4.2. Fórmula base con las cantidades en gramos

4.1.1.1. VARIACIÓN DE NEGRO DE HUMO.- Las variaciones realizamos en términos de porcentaje de Negro de Humo *en relación con el total de la mezcla:*

Mezcla con caucho natural para 0,5 Kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Natural	100	340,8	68,2
Aceite altamente aromático	2	6,8	1,4
Ácido Esteárico	5	17,0	3,4
Oxido de Zinc	5	17,0	3,4
Vulcanox	1	3,4	0,7
Vulcacid TMT	0,2	0,7	0,1
Vulcacid CBS	1,5	5,1	1,0
Azufre	3	10,2	2,0
	146,7	500,0	100,0

Fórmula 4.3. Fórmula base menos 10% de negro de humo

Mezcla con caucho natural para 0.5 Kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Natural	100	255,6	51,1
Aceite altamente aromático	2	5,1	1,0
Ácido Esteárico	5	12,8	2,6
Oxido de Zinc	5	12,8	2,6
Vulcanox	1	2,6	0,5
Vulcacit TMT	0,2	0,5	0,1
Vulcacit CBS	1,5	3,8	0,8
Azufre	3	7,7	1,5
	195,6	500,0	100,0

Fórmula 4.4. Fórmula base más 10% de negro de humo

4.2. ENSAYOS Y PROPIEDADES DE CADA UNA DE LAS MEZCLAS.

4.2.1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

	Mpa
Mezcla base -10% de Negro de Humo	90,675
Mezcla base	72,885
Mezcla base +10% de Negro de Humo	36,134

Tabla 4.2. Resultado de ensayo

4.2.2. ALARGAMIENTO A LA ROTURA.

	%
Mezcla base -10% de Negro de Humo	316,153
Mezcla base	184,454
Mezcla base +10% de Negro de Humo	57,658

Tabla 4.3. Resultado de ensayo

4.2.3. MÓDULO.

	Mpa
Mezcla base + 10% de Negro de Humo	1,995
Mezcla base	2,035
Mezcla base + 10% de Negro de Humo	3,210

Tabla 4.4. Resultado de ensayo

4.2.4. DUREZA.

	Shore
Mezcla base + 10% de Negro de Humo	56
Mezcla base	67
Mezcla base + 10% de Negro de Humo	79

Tabla 4.5. Resultado de ensayo

4.2.5. ABRASIÓN.

Para esta prueba lo primero que debemos saber es la densidad de la mezcla (capítulo 1), el procedimiento es el siguiente:

1. Procedemos a elaborar un cuadro para cada una de las mezclas, en donde debe que constar en la fórmula, pHR (partes por 100 de polímero), densidad y pHR/Densidad y las sumatorias de cada columna.

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Natural	100	0,92	108,70
Negro de humo	50	1,80	27,78
Aceite altamente aromático	2	1,00	2,00
Ácido Esteárico	5	0,85	5,88
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,2	1,37	0,15
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	3	2,07	1,45
	167,7		148,88

Tabla 4.6. Densidad de la mezcla base

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Natural	100	0,92	108,70
Negro de humo	29	1,80	16,11
Aceite altamente aromático	2	1,00	2,00
Ácido Esteárico	5	0,85	5,88
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,2	1,37	0,15
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	3	2,07	1,45
	146,7		137,21

Tabla 4.7. Densidad de la mezcla base menos 10% de negro de humo

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Natural	100	0,92	108,70
Negro de humo	77,9	1,80	43,28
Aceite altamente aromático	2	1,00	2,00
Ácido Esteárico	5	0,85	5,88
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,2	1,37	0,15
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	3	2,07	1,45
	195,6		164,38

Tabla 4.8. Densidad de la mezcla base más 10% de negro de humo

2. Realizamos el cálculo de las densidades de cada una de las mezclas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{\sum \text{pHR}}{\sum \frac{\text{pHR}}{\text{DENSIDAD}}}$$

- Mezcla base (patrón)

$$\delta = \frac{167.7}{148.88} = 1.126$$

- Mezcla base -10% de Negro de Humo

$$\delta = \frac{146.7}{137.21} = 1.069$$

- Mezcla base +10% de Negro de Humo

$$\delta = \frac{195.6}{164.38} = 1.189$$

3. Calculamos las pérdidas de masa de cada una de las mezclas, para esto utilizamos el equipo de abrasión. La masa de pérdida por abrasión se determina por diferencia de pesos entre la masa inicial y la masa final.

	Peso inicial	Peso final	Pérdida de masa
Mezcla base -10% de Negro de Humo	5,8	5,65	0,15
Mezcla base (patrón)	5,8	5,7	0,1
Mezcla base +10% de Negro de Humo	5,8	5,6	0,2

Tabla 4.9. Pérdida de masa en la abrasión

4. Cálculo de los volúmenes V_E , V_P :

$$V = \frac{\text{pérdida de masa}}{\text{densidad de la mezcla}}$$

- Mezcla base (patrón).

$$V_P = \frac{0.1}{1.126} = 0.088$$

- Mezcla base -10% de Negro de Humo.

$$V_E = \frac{0.15}{1.069} = 0.140$$

- Mezcla base +10% de Negro de Humo.

$$V_E = \frac{0.2}{1.189} = 0.168$$

5. El cálculo del índice de abrasión realizamos con la siguiente fórmula:

$$IA = \frac{V_P}{V_E} \times 100$$

- Mezcla base (patrón).

$$IA = \frac{0.088}{0.088} \times 100 = 100$$

- Mezcla base -10% de Negro de Humo

$$IA = \frac{0.088}{0.14} \times 100 = 62.85$$

- Mezcla base +10% de Negro de Humo

$$IA = \frac{0.088}{0.168} \times 100 = 52.38$$

	%
Mezcla base -10% de Negro de Humo	62,85
Mezcla base	100,00
Mezcla base +10% de Negro de Humo	52,38

Tabla 4.10. Resultado de ensayo

4.3 CONCLUSIONES.

Mezcla	-10% N.H. pHR	M. Base pHR	+10% N.H. pHR
Caucho Natural	100	100	100
Aceite altamente aromático	2	2	2
Ácido Esteárico	5	5	5
Oxido de Zinc	5	5	5
Vulcanox	1	1	1
Vulcagit TMT	0,2	0,2	0,2
Vulcagit CBS	1,5	1,5	1,5
Azufre	3	3	3
Resistencia a la Tensión	90,675	72,825	36,134
Alargamiento a la Rotura	316,153	184,450	57,658
Módulo	1,995	2,035	3,210
Dureza	56	67	79
Abrasión	62,85	100	52,38

Tabla 4.11. Conclusiones

4.4 VARIACIÓN DE PLASTIFICANTE (ACEITE ALTAMENTE AROMÁTICO), EN LA MEZCLA CON EL CAUCHO NATURAL.

4.4.1. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTE.

A partir de la mezcla base,

Mezcla con caucho natural para 0,5 Kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Natural	100	298,2	59,6
Aceite altamente aromático	2	6,0	1,2
Ácido Esteárico	5	14,9	3,0
Oxido de Zinc	5	14,9	3,0
Vulcanox	1	3,0	0,6
Vulcacit TMT	0,2	0,6	0,1
Vulcacit CBS	1,5	4,5	0,9
Azufre	3	8,9	1,8
	167,7	500,0	100,0

Fórmula 4.5. Mezcla base

obtenemos la variación de diferente porcentaje de plastificante, de la misma forma que realizamos en el caucho natural, con un ligero cambio, ya que en esta práctica no vimos obligadas a realizar otra variación más, a parte de las establecidas, para poder notar con claridad la variación de las propiedades.

Fórmula con caucho natural para 0,5 Kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Natural	100	301,4	60,3
Negro de humo	50	150,7	30,1
Aceite altamente aromático	0,17	0,5	0,10
Ácido Esteárico	5	15,1	3,0
Oxido de Zinc	5	15,1	3,0
Vulcanox	1	3,0	0,6
Vulcacit TMT	0,2	0,6	0,1
Vulcacit CBS	1,5	4,5	0,9
Azufre	3	9,0	1,8
	165,87	500,0	100,0

Fórmula 4.6. Mezcla con menos 1.1% de plastificante

Fórmula con caucho natural para 0,5 Kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Natural	100	301,0	60,2
Negro de humo	50	150,5	30,1
Aceite altamente aromático	0,4	1,2	0,24
Ácido Esteárico	5	15,1	3,0
Oxido de Zinc	5	15,1	3,0
Vulcanox	1	3,0	0,6
Vulcacit TMT	0,2	0,6	0,1
Vulcacit CBS	1,5	4,5	0,9
Azufre	3	9,0	1,8
	166,1	500,0	100,0

Fórmula 4.7. Mezcla con menos 1% de plastificante.

Fórmula con caucho natural para 0,5 Kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Natural	100	295,0	59,0
Negro de humo	50	147,5	29,5
Aceite altamente aromático	3,8	11,2	2,2
Ácido Esteárico	5	14,7	2,9
Oxido de Zinc	5	14,7	2,9
Vulcanox	1	2,9	0,6
Vulcacit TMT	0,2	0,6	0,1
Vulcacit CBS	1,5	4,4	0,9
Azufre	3	8,8	1,8
	169,5	500,0	100,0

Fórmula 4.8. Mezcla más 1% de plastificante

4.5. ENSAYOS Y PROPIEDADES DE CADA UNA DE LAS MEZCLAS.

4.5.1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

	Mpa
Mezcla base -1,1% de Plastificante	52,496
Mezcla base -1% de Plastificante	73,597
Mezcla base	82,885
Mezcla base +1% de Plastificante	93,438

Tabla 4.12. Resultado del ensayo

4.5.2. ALARGAMIENTO A LA ROTURA.

	%
Mezcla base -1,1% de Plastificante	134,416
Mezcla base -1% de Plastificante	176,479
Mezcla base	194,454
Mezcla base +1% de Plastificante	208,765

Tabla 4.13. Resultado del ensayo

4.5.3. MÓDULO.

	Mpa
Mezcla base -1,1% de Plastificante	2,225
Mezcla base -1% de Plastificante	2,133
Mezcla base	2,035
Mezcla base +1% de Plastificante	2,002

Tabla 4.14. Resultado del ensayo

4.5.4. DUREZA.

	Shore
Mezcla base +1,1% de Plastificante	71
Mezcla base +1% de Plastificante	69
Mezcla base	67
Mezcla base +1% de Plastificante	64

Tabla 4.15. Resultado del ensayo

4.5.5. ABRASIÓN.

1. Cálculo de las densidades de cada una de las mezclas.

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Natural	100	0,92	108,70
Negro de humo	50	1,80	27,78
Aceite altamente aromático	2	1,00	2,00
Ácido Esteárico	5	0,85	5,88
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,2	1,37	0,15
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	3	2,07	1,45
	167,7		148,88

Tabla 4.16. Mezcla base

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Natural	100	0,92	108,70
Negro de humo	50	1,80	27,78
Aceite altamente aromático	0,17	1,00	0,17
Ácido Esteárico	5	0,85	5,88
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,2	1,37	0,15
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	3	2,07	1,45
	165,87		147,05

Tabla 4.17. Mezcla base menos 1,1% de plastificante

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Natural	100	0,92	108,70
Negro de humo	50	1,80	27,78
Aceite altamente aromático	0,4	1,00	0,40
Ácido Esteárico	5	0,85	5,88
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,2	1,37	0,15
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	3	2,07	1,45
	166,1		147,28

Tabla 4.18. Mezcla base menos 1% de plastificante

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Natural	100	0,92	108,70
Negro de humo	50	1,80	27,78
Aceite altamente aromático	3,8	1,00	3,80
Ácido Esteárico	5	0,85	5,88
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,2	1,37	0,15
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	3	2,07	1,45
	169,5		150,68

Tabla 4.19. Mezcla base más 1% de plastificante

Si tenemos la fórmula:

$$\delta = \frac{\sum \text{pHR}}{\sum \frac{\text{pHR}}{\text{DENSIDAD}}}$$

realizamos el cálculo de las densidades.

- Mezcla base (patrón)

$$\delta = \frac{167,7}{148,88} = 1,126$$

- Mezcla base -1,1% de Plastificante

$$\delta = \frac{165.87}{147.05} = 1.127$$

- Mezcla base -1% de Plastificante

$$\delta = \frac{166.1}{147.28} = 1.127$$

- Mezcla base +1% de Plastificante

$$\delta = \frac{169.5}{150.68} = 1.124$$

2. Calculamos las pérdidas de masa de cada una de las mezclas.

	Peso inicial	Peso final	Pérdida de masa
Mezcla base -1,1% de Plastificante	5,8	5,7	0,1
Mezcla base -1% de Plastificante	5,7	5,6	0,1
Mezcla base (patrón)	5,8	5,7	0,1
Mezcla base +1% de Plastificante	5,8	5,7	0,1

Tabla 4.20. Pérdida de peso de la mezcla

3. Cálculo de los volúmenes V_E , V_P :

$$V = \frac{\text{pérdida de masa}}{\text{densidad de la mezcla}}$$

- Mezcla base (patrón).

$$V_P = \frac{0.1}{1.126} = 0.088$$

- Mezcla base -1,1% de Plastificante.

$$V_E = \frac{0.1}{1.127} = 0.088$$

- Mezcla base -1% de Plastificante.

$$V_E = \frac{0.1}{1.127} = 0.088$$

- Mezcla base +1% de Plastificante.

$$V_E = \frac{0.1}{1.124} = 0.088$$

4. El cálculo del índice de abrasión realizo con la siguiente fórmula:

$$IA = \frac{V_P}{V_E} \times 100$$

- Mezcla base (patrón).

$$IA = \frac{0.088}{0.088} \times 100 = 100$$

- Mezcla base -1,1% de Plastificante.

$$IA = \frac{0.088}{0.088} \times 100 = 100$$

- Mezcla base -1% de Plastificante.

$$IA = \frac{0.088}{0.088} \times 100 = 100$$

- Mezcla base +1% de Plastificante.

$$IA = \frac{0.088}{0.088} \times 100 = 100$$

	%
Mezcla base -1.1% de Plastificante	100,00
Mezcla base -1% de Plastificante	100,00
Mezcla base	100,00
Mezcla base +1% de Plastificante	100,00

Tabla 4.21. Resultado del ensayo

4.6. CONCLUSIONES

Mezcla	-1,1%Plast. pHR	-1%Plast. pHR	M. Base pHR	+1%Plast. pHR
Caucho Natural	100	100	100	100
Negro de humo	50	50	50	50
Aceite altamente aromático	0,17	0,4	2	3,8
Ácido Esteárico	5	5	5	5
Oxido de Zinc	5	5	5	5
Vulcanox	1	1	1	1
Vulcacit TMT	0,2	0,2	0,2	0,2
Vulcacit CBS	1,5	1,5	1,5	1,5
Azufre	3	3	3	3
Resistencia a la Tensión	52,496	73,597	82,885	93,438
Alargamiento a la Rotura	134,416	176,479	194,450	208,765
Módulo	2,225	2,133	2,035	2,002
Dureza	71	69	67	64
Abrasión	100	100	100	100

Tabla 4.22. Conclusiones

CAPITULO V

CAUCHO NITRÍLICO

5. CAUCHO NITRÍLICO

5.1 OBTENCIÓN DEL CAUCHO NITRÍLICO.

El conocimiento de la estructura del caucho natural abrió el camino para el desarrollo del caucho sintético.

Casi todos los cauchos sintéticos se producen en dos etapas, una primera para la fabricación del monómero, y una segunda para su polimerización, siendo los materiales empleados para la primera etapa, el alcohol y el acetileno y posteriormente los derivados del petróleo.

Para la obtención del caucho nitrílico, se da el proceso de copolimerización, entendiéndose por esto, la unión entre los polímeros butadieno y acrílo-nitrilo, conteniendo una proporción de 18% a 50% de acrílo-nitrilo.

El acrílo-nitrilo se forma a partir de la amida del ácido acrílico según la siguiente reacción:



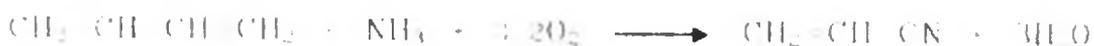
Posteriormente y para la fabricación industrial se utilizaron tres métodos, basados:

1. En hacer reaccionar el ácido cianhídrico sobre el óxido de etileno en presencia de un catalizador alcalino a 50-55°C, para dar el cianuro de etileno, el cual,

calentado a 200–250°C, en presencia de Bauxita en polvo, o de carbonato de magnesia, pierde agua y se convierte en acrílo-nitrilo.

2. En fase líquida, haciendo pasar una mezcla gaseosa de acetileno y ácido cianhídrico a 75°C, por una solución de $\text{CINH}(\text{ClCu})_2$. La relación entre el acetileno y el ácido cianhídrico debe ser del 10:1.
3. Parten ya sea de ésteres del acetaldehído cianhidrina por pirólisis entre 500°–580°C, o se basan en la deshidrogenación del propio nitrilo.

En la actualidad, aproximadamente el 75% de los cauchos nitrilicos que se producen en el mundo, se obtienen por el procedimiento Sohio, que consiste en hacer reaccionar el propileno con el amoniaco en presencia del aire y vapor de agua, mediante el paso de esta mezcla, por un catalizador finamente dividido, calentado a 450°–500°C. La reacción sería la siguiente:



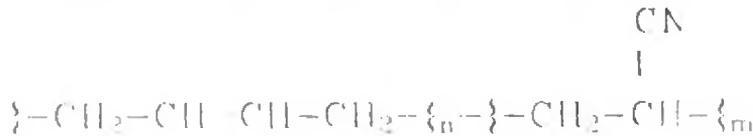
Su nombre comercial es Perbunan N y su importancia, deriva de su resistencia a los disolventes, aceites, y grasa, y los de alto contenido, a varios compuestos aromáticos. Este caucho ha obtenido gran preponderancia porque a estas propiedades va unido el echo de poderse efectuar las mezclas y vulcanización con los mismos elementos empleados en el caucho natural.

5.2. ESTRUCTURA QUÍMICA

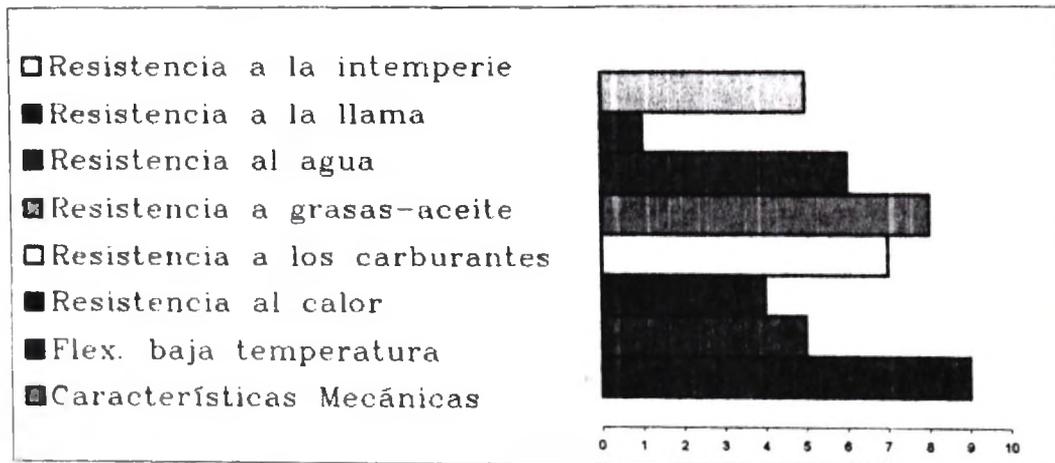
Este caucho como sabemos es un copolímero de un dieno, el butadieno, y de un monómero saturado, el acrílo-nitrilo. Este último al copolimerizarse pierde su doble ligadura de modo que el único que aporta a la vulcanización con azufre es el butadieno.



En la copolimerización del butadieno con el acrílo-nitrilo se forma el caucho nitrílico NBR.



5.3. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS



muy deficiente = 1

extraordinario = 11

Gráfica 5.1. Propiedades

Por estas características podemos encontrarlo en: retenes de grasa y aceite, en tuberías de conducción de gasolina, en calzados para paracaidistas, telas engomadas que deban resistir a los aceites, rodillos de goma para imprenta, y también para adhesivos, etc..

El valor y proporción de acrílo- nitrilo que tenga el copolímero, lo posibilita para una amplia gama de aplicaciones en la industria. Al aumentar el contenido en acrílo-nitrilo, aumentan:

- la resistencia a disolventes y aceites.
- la resistencia a la tracción.
- la dureza.
- la resistencia a la abrasión.
- la impermeabilidad a los gases.
- la resistencia al calor.
- la carga de rotura.
- disminuye la elasticidad (rebote, resiliencia).

Al aumentar el contenido en butadieno, aumenta también:

- la resistencia a bajas temperaturas.
- la resiliencia.
- la compatibilidad por los plastificantes.

El caucho nitrílico además tiene:

- un peso molecular medio y una buena distribución de estos.
- cadenas principales lineales o en ovillo.
- cadenas laterales ramificadas, cortas o largas en número y longitud.
- polímeros parcialmente reticulados, cis, trans, isomería.
- rango de temperatura -40°C a $+120^{\circ}\text{C}$.

- buenas propiedades mecánicas como tracción, compresión, flexión e impermeabilización a los gases.

5.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

5.4.1. VENTAJAS

- ❖ Buena compatibilidad con caucho natural.
- ❖ Resistente a la fatiga.
- ❖ Resiliente.
- ❖ Resistente a la abrasión.
- ❖ Buena elasticidad en frío.
- ❖ Muy buena adhesión con metales.
- ❖ Muy buena resistencia a grasas y aceites.
- ❖ Alto grado de resistencia al envejecimiento, por acción de grasas, aceites y solventes.

5.4.2. DESVENTAJAS:

- ❖ Limitada resistencia al calor.
- ❖ Fácilmente inflamable.
- ❖ Pobre resistencia al ozono.
- ❖ Escasa pegajosidad.
- ❖ Bajo grado de resistencia al envejecimiento por acción del calor.

CAPITULO VI

ENSAYOS

6. ENSAYOS

6.1. VARIACIÓN DE LA CARGA REFORZANTE RUBBERSIL EN LA MEZCLA CON EL CAUCHO NITRÍLICO.

6.1.1. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CARGA.

Las indicaciones para la dosificación de las materias primas en la mezcla con el caucho nitrílico, según el manual para la industria del caucho que presenta la casa proveedora BAYER son:

Materias Primas	Rangos pH
Caucho Nitrílico	100
Oxido de Hierro	0 - 3
Caolín	0 - 60
Rubbersil	0 - 100
Propilenglicol	2 - 5
A. altamente aromático	1 - 5
Ácido esteárico	2 - 6
Oxido de Zinc	2 - 5
Vulcanox	0,75 - 2
TMT	0,25 - 0,8
CBS	1,5 - 3
Azufre	2,4 - 2,6

Tabla 6.1. Rangos de pH

De acuerdo al cuadro anterior diseñamos la mezcla base:

Materias Primas	pHR
Caucho Nitrílico	100
Oxido de Hierro	1
Caolín	10
Rubbersil	30
Propilenglicol	3,5
A. altamente aromático	3
Ácido esteárico	4
Oxido de Zinc	5
Vulcanox	1
TMT	0,25
CBS	1,5
Azufre	2,4

Formulada 6.1. Formula base

Las cantidades que debemos pesar en gramos serán las siguientes:

Mezcla con caucho nitrílico para 0,5kg			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Nitrílico	100	309,3	61,9
Oxido de Hierro	1	3,1	0,6
Caolín	10	30,9	6,2
Propilenglicol	3,5	10,8	2,2
Aceite altamente aromático	3	9,3	1,9
Ácido Esteárico	4	12,4	2,5
Oxido de Zinc	5	15,5	3,1
Vulcanox	1	3,1	0,6
Vulcacit TMT	0,25	0,8	0,2
Vulcacit CBS	1,5	4,6	0,9
Azufre	2,4	7,4	1,5
	161,65	500,0	100,0

Formulada 6.2. Formula base con cantidades en gramos

6.1.1.1. VARIACIÓN DE RUBBERSIL.- Este proceso se realizará tomando en cuenta que, el porcentaje de rubbersil que se ocupa en la mezcla base es de 18.6% y a las variaciones se disminuirá y aumentará 5% de rubbersil de la mezcla base.

Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Nitrílico	100	328.0	65.6
Oxido de Hierro	1	3.3	0.7
Caolín	10	32.8	6.6
Propilenglicol	3.5	11.5	2.3
Aceite altamente aromático	3	9.8	2.0
Ácido Esteárico	4	13.1	2.6
Oxido de Zinc	5	16.4	3.3
Vulcanox	1	3.3	0.7
Vulcacit TMT	0.25	0.8	0.2
Vulcacit CBS	1.5	4.9	1.0
Azufre	2.4	7.9	1.6
	152.15	500.0	100.0

Formula 6.3. Formula base menos 5% de Rubbersil

Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Nitrílico	100	290.1	58.0
Oxido de Hierro	1	2.9	0.6
Caolín	10	29.0	5.8
Propilenglicol	3.5	10.2	2.0
Aceite altamente aromático	3	8.7	1.7
Ácido Esteárico	4	11.6	2.3
Oxido de Zinc	5	14.5	2.9
Vulcanox	1	2.9	0.6
Vulcacit TMT	0.25	0.7	0.1
Vulcacit CBS	1.5	4.4	0.9
Azufre	2.4	7.0	1.4
	172.35	500.0	100.0

Formula 6.4. Formula base mas 5% de Rubbersil

6.2. ENSAYOS Y PROPIEDADES DE CADA UNA DE LAS MEZCLAS.

6.2.1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

	Mpa
Mezcla base + 5% de Rubbersil	77.009
Mezcla base	63.420
Mezcla base + 5% de Rubbersil	50.552

Tabla 6.2. Resultado de ensayo

6.2.2. ALARGAMIENTO A LA ROTURA.

	%
Mezcla base + 5% de Rubbersil	459,130
Mezcla base	455,150
Mezcla base + 5% de Rubbersil	453,186

Tabla 6.3. Resultado de ensayo

6.2.3. MÓDULO.

	Mpa
Mezcla base + 5% de Rubbersil	1,370
Mezcla base	1,868
Mezcla base + 5% de Rubbersil	2,648

Tabla 6.4. Resultado de ensayo

6.2.4. DUREZA.

	Shore
Mezcla base + 5% de Rubbersil	56
Mezcla base	65
Mezcla con +5% de Rubbersil	75

Tabla 6.5. Resultado de ensayo

6.2.5. ABRASIÓN.

1 Cálculo de las densidades de cada una de las mezclas.

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Nitrílico	100	0,99	101,01
Oxido de Hierro	1	5,10	0,20
Caolín	10	2,60	3,85
Rubbersil	30	2,00	15,00
Propilenglicol	3,5	1,06	3,30
Aceite altamente aromático	3	1,00	3,00
Ácido Esteárico	4	0,85	4,71
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,25	1,37	0,18
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	2,4	2,07	1,16
	161,65		135,33

Tabla 6.7. Densidad de la mezcla base.

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Nitrílico	100	0,99	101,01
Oxido de Hierro	1	5,10	0,20
Caolín	10	2,60	3,85
Rubbersil	20,8	2,00	10,40
Propilenglicol	3,5	1,06	3,30
Aceite altamente aromático	3	1,00	3,00
Ácido Esteárico	4	0,85	4,71
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,25	1,37	0,18
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	2,4	2,07	1,16
	152,45		130,73

Tabla 6.8. Densidad de la mezcla base menos 5% de Rubbersil

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Nitrílico	100	0,99	101,01
Oxido de Hierro	1	5,10	0,20
Caolín	10	2,60	3,85
Rubbersil	40,7	2,00	20,35
Propilenglicol	3,5	1,06	3,30
Aceite altamente aromático	3	1,00	3,00
Ácido Esteárico	4	0,85	4,71
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,25	1,37	0,18
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	2,4	2,07	1,16
	172,35		140,68

Tabla 6.9. Densidad de la mezcla base mas 5% de Rubbersil

Con la siguiente fórmula realizo el cálculo de la densidad:

$$\delta = \frac{\sum \text{pHR}}{\sum \frac{\text{pHR}}{\text{DENSIDAD}}}$$

- Mezcla base (patrón)

$$\delta = \frac{161.65}{135.33} = 1.194$$

- Mezcla -5% de Rubbersil.

$$\delta = \frac{152.45}{130.73} = 1.166$$

- Mezcla +5% de Rubbersil.

$$\delta = \frac{172.35}{140.68} = 1.225$$

- Calculamos las pérdidas de masa de cada una de las mezclas.

	Peso inicial	Peso final	Pérdida de masa
Mezcla base -5% de Rubbersil	5,8	5,75	0,05
Mezcla base (patrón)	5,8	5,7	0,10
Mezcla base +5% de Rubbersil	5,8	5,64	0,16

Tabla 6.10. Pérdida de peso

- Cálculo de los volúmenes V_E , V_P :

$$V = \frac{\text{pérdida de masa}}{\text{densidad de la mezcla}}$$

Aplicando la fórmula tenemos:

- Mezcla base (patrón).

$$V_P = \frac{0.10}{1.194} = 0.083$$

- Mezcla base -5% de Rubbersil.

$$V_E = \frac{0.05}{1.166} = 0.042$$

- Mezcla base +5% de Rubbersil.

$$V_E = \frac{0.16}{1.225} = 0.13$$

4. Cálculo del índice de abrasión IA:

$$IA = \frac{V_P}{V_E} \times 100$$

- Mezcla base (patrón).

$$IA = \frac{0.083}{0.083} \times 100 = 100$$

- Mezcla base -5% de Rubbersil.

$$IA = \frac{0.083}{0.042} \times 100 = 197$$

- Mezcla base +5% de Rubbersil.

$$IA = \frac{0.083}{0.13} \times 100 = 63.84$$

	%
Mezcla base -5% de Rubbersil	197,00
Mezcla base	100,00
Mezcla base +5% de Rubbersil	53,84

Tabla 6.11 Resultado del ensayo

6.3 CONCLUSIONES.

Mezcla	-5%Rubber. pHR	M. Base pHr	+5%Rubber. pHR
Caucho Nitrílico	100	100	100
Oxido de Hierro	1	1	1
Caolín	10	10	10
Propilenglicol	3,5	3,5	3,5
Aceite Altamente Aromático	3	3	3
Ácido Esteárico	4	4	4
Oxido de Zinc	5	5	5
Vulcanox	1	1	1
Vulcacit TMT	0,25	0,25	0,25
Vulcacit CBS	1,5	1,5	1,5
Azufre	2,4	2,4	2,4
Resistencia a la Tensión	77.009	63,42	50.552
Alargamiento a la Rotura	459,13	455,150	453,186
Módulo	1,370	1,868	2,648
Dureza	56	65	75
Abrasión	197,00	100,00	53,84

Tabla 6.12. Conclusiones

6.4. VARIACIÓN DE PLASTIFICANTE (ACEITE ALTAMENTE AROMÁTICO), EN LA MEZCLA CON EL CAUCHO NITRÍLICO.

6.4.1. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTE.

Para variar la cantidad de plastificante tomamos en cuenta que en la mezcla base tenemos una cantidad de 1,9% de aceite altamente aromático, a la cual debemos disminuir 1% de plastificante y obtenemos la primera mezcla variada, luego a la misma mezcla base, aumentar el 1% para obtener la segunda mezcla.

Mezcla con caucho nitrílico para 0,5 Kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Nitrílico	100	312,2	62,4
Oxido de Hierro	1	3,1	0,6
Caolín	10	31,2	6,2
Rubbersil	30	93,7	18,7
Propilenglicol	3,5	10,9	2,2
Aceite altamente aromático	1,5	4,7	0,9
Ácido Esteárico	4	12,5	2,5
Oxido de Zinc	5	15,6	3,1
Vulcanox	1	3,1	0,6
Vulcacid TMT	0,25	0,8	0,2
Vulcacid CBS	1,5	4,7	0,9
Azufre	2,4	7,5	1,5
	160,15	500,0	100,0

Fórmula 6.5 Mezcla menos 1% de plastificante

Mezcla con caucho nitrílico para 0,5 Kg.			
Materias Primas	pHR	gr.	%
Caucho Nitrílico	100	305,9	61,2
Oxido de Hierro	1	3,1	0,6
Caolín	10	30,6	6,1
Rubbersil	30	91,8	18,4
Propilenglicol	3,5	10,7	2,1
Aceite altamente aromático	4,8	14,7	2,9
Ácido Esteárico	4	12,2	2,4
Oxido de Zinc	5	15,3	3,1
Vulcanox	1	3,1	0,6
Vulcacit TMT	0,25	0,8	0,2
Vulcacit CBS	1,5	4,6	0,9
Azufre	2,4	7,3	1,5
	163,45	500,0	100,0

Tabla 6.6 Mezcla más 1% de plastificante

6.5. ENSAYOS Y PROPIEDADES DE CADA UNA DE LAS MEZCLAS.

6.5.1. RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

	Mpa
Mezcla base -1% de Plastificante	49,044
Mezcla base	55,420
Mezcla base +1% de Plastificante	67,117

Tabla 6.13 Resultado de ensayos

6.5.2. ALARGAMIENTO A LA ROTURA.

	%
Mezcla base -1% de Plastificante	313,842
Mezcla base	355,150
Mezcla base +1% de Plastificante	463,423

Tabla 6.14 Resultado del ensayo

6.5.3. MÓDULO.

	Mpa
Mezcla base +1% de Plastificante	2,214
Mezcla base	1,868
Mezcla base -1% de Plastificante	1,741

Tabla 6.15 Resultado del ensayo

6.5.4. DUREZA.

	Shore
Mezcla base +1% de Plastificante	67
Mezcla base	65
Mezcla base -1% de Plastificante	63

Tabla 6.16 Resultado del ensayo

6.5.5. ABRASIÓN.

1. Cálculo de las densidades de cada una de las mezclas.

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Nitrílico	100	0,99	101,01
Oxido de Hierro	1	5,10	0,20
Caolín	10	2,60	3,85
Rubbersil	30	2,00	15,00
Propilenglicol	3,5	1,06	3,30
Aceite altamente aromático	3	1,00	3,00
Ácido Esteárico	4	0,85	4,71
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,25	1,37	0,18
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	2,4	2,07	1,16
	161,65		135,33

Tabla 6.17 Mezcla base patron

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Nitrílico	100	0,99	101,01
Oxido de Hierro	1	5,10	0,20
Caolín	10	2,60	3,85
Rubbersil	30	2,00	15,00
Propilenglicol	3,5	1,06	3,30
Aceite altamente aromático	1,5	1,00	1,50
Ácido Esteárico	4	0,85	4,71
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,25	1,37	0,18
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	2,4	2,07	1,16
	160,15		133,83

Tabla 6.18 Mezcla base menos 1% de plastificante

Materias Primas	pHR	DENSIDAD	pHR/DENSIDAD
Caucho Nitrílico	100	0,99	101,01
Oxido de Hierro	1	5,10	0,20
Caolín	10	2,60	3,85
Rubbersil	30	2,00	15,00
Propilenglicol	3,5	1,06	3,30
Aceite altamente aromático	4,8	1,00	4,80
Ácido Esteárico	4	0,85	4,71
Oxido de Zinc	5	5,59	0,89
Vulcanox	1	1,16	0,86
Vulcacit TMT	0,25	1,37	0,18
Vulcacit CBS	1,5	1,28	1,17
Azufre	2,4	2,07	1,16
	163,45		137,13

Tabla 6.19 Mezcla base más 1% de plastificante

Con la siguiente fórmula realizamos el cálculo de las densidades:

$$\delta = \frac{\sum \text{pHR}}{\sum \frac{\text{pHR}}{\text{DENSIDAD}}}$$

- Mezcla base (patrón)

$$\delta = \frac{161.65}{135.33} = 1.194$$

- Mezcla base -1% de Plastificante

$$\delta = \frac{160.15}{133.83} = 1.197$$

- Mezcla base +1% de Plastificante

$$\delta = \frac{163.45}{137.13} = 1.192$$

2 Calculamos las pérdidas de masa de cada una de las mezclas.

	Peso inicial	Peso final	Pérdida de masa
Mezcla base -1% de Plastificante	5,8	5,6	0,2
Mezcla base (patrón)	5,8	5,7	0,1
Mezcla base +1% de Plastificante	5,8	5,75	0,05

Tabla 6.20 Pérdida de peso de las mezclas

3 Cálculo de los volúmenes V_E , V_P :

$$V = \frac{\text{pérdida de masa}}{\text{densidad de la mezcla}}$$

- Mezcla base (patrón).

$$V_P = \frac{0.1}{1.194} = 0.0837$$

- Mezcla base -1% de Plastificante.

$$V_E = \frac{0.2}{1.197} = 0.167$$

- Mezcla base +1% de Plastificante.

$$V_E = \frac{0.05}{1.192} = 0.042$$

• Cálculo del índice de abrasión IA:

$$IA = \frac{V_P}{V_E} \times 100$$

- Mezcla base (patrón).

$$IA = \frac{0.0837}{0.0837} \times 100 = 100$$

- Mezcla base -1% de Plastificante.

$$IA = \frac{0.0837}{0.167} \times 100 = 50,12$$

- Mezcla base +1% de Plastificante.

$$IA = \frac{0.0837}{0.042} \times 100 = 199,28$$

	%
Mezcla base -1% de Plastificante	50.12
Mezcla base	100.00
Mezcla base +1% de Plastificante	199.28

Tabla 6.21 Resultado del ensayo

6.6. Conclusiones

Mezcla	-1% Plast. pHR	M. Base pHR	+1% Plast. pHR
Caucho Nitrílico	100	100	100
Oxido de Hierro	1	1	1
Caolín	10	10	10
Rubbersil	30	30	30
Propilenglicol	3,5	3,5	3,5
Aceite Altamente Aromático	1,5	3	4,8
Ácido Esteárico	4	4	4
Oxido de Zinc	5	5	5
Vulcanox	1	1	1
Vulcacit TMT	0,25	0,25	0,25
Vulcacit CBS	1,5	1,5	1,5
Azufre	2,4	2,4	2,4
Resistencia a la Tensión	49,044	55,420	67,117
Alargamiento a la Rotura	313,842	355,150	463,423
Módulo	2,214	1,868	1,741
Dureza	67	65	63
Abrasión	50,12	100,00	199,28

Tabla 6.22 Conclusiones

CAPITULO VII

ANALISIS DE RESULTADOS

7. ELABORACIÓN DE GRAFICAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

7.1. CAUCHO NATURAL.

7.1.1. VARIACIÓN DE NEGRO DE HUMO.

De la tabla 4.2 tenemos la siguiente gráfica:

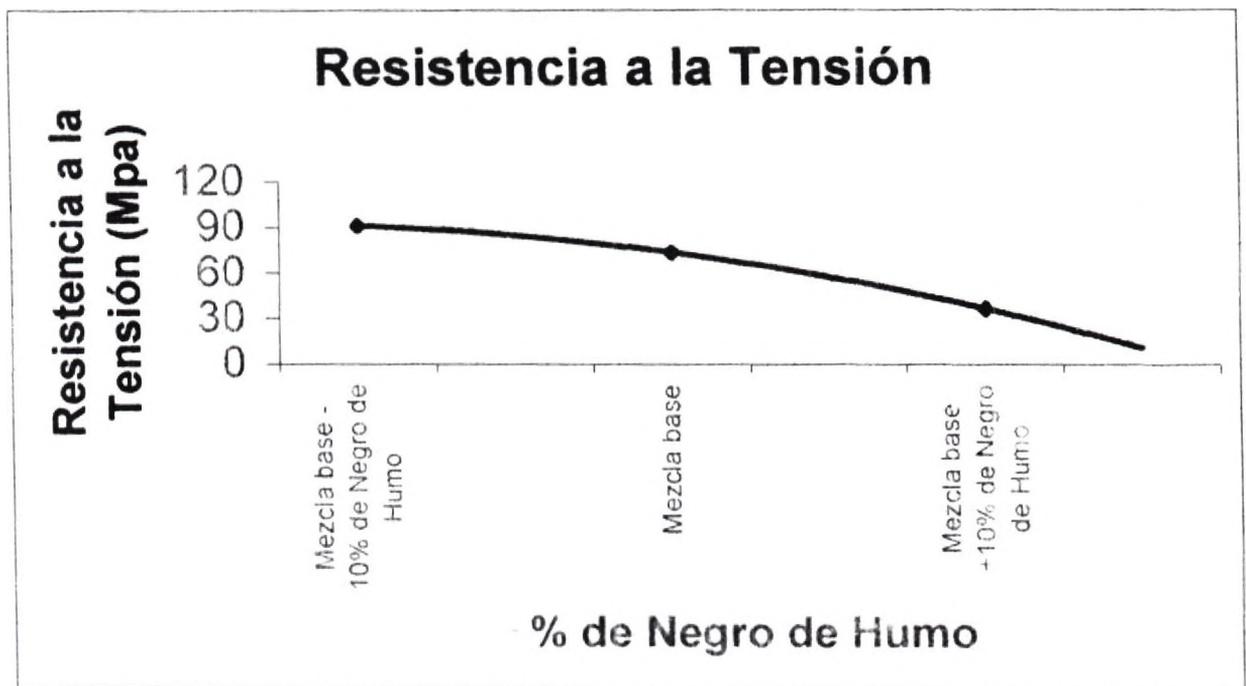


Figura 7.1. Resistencia a la tensión vs. % de negro de humo

Al realizar el análisis de la figura 7.1 observamos que conforme aumenta el negro de humo la resistencia a la tensión baja.

Basándonos en la tabla 4.3 tenemos la siguiente gráfica:

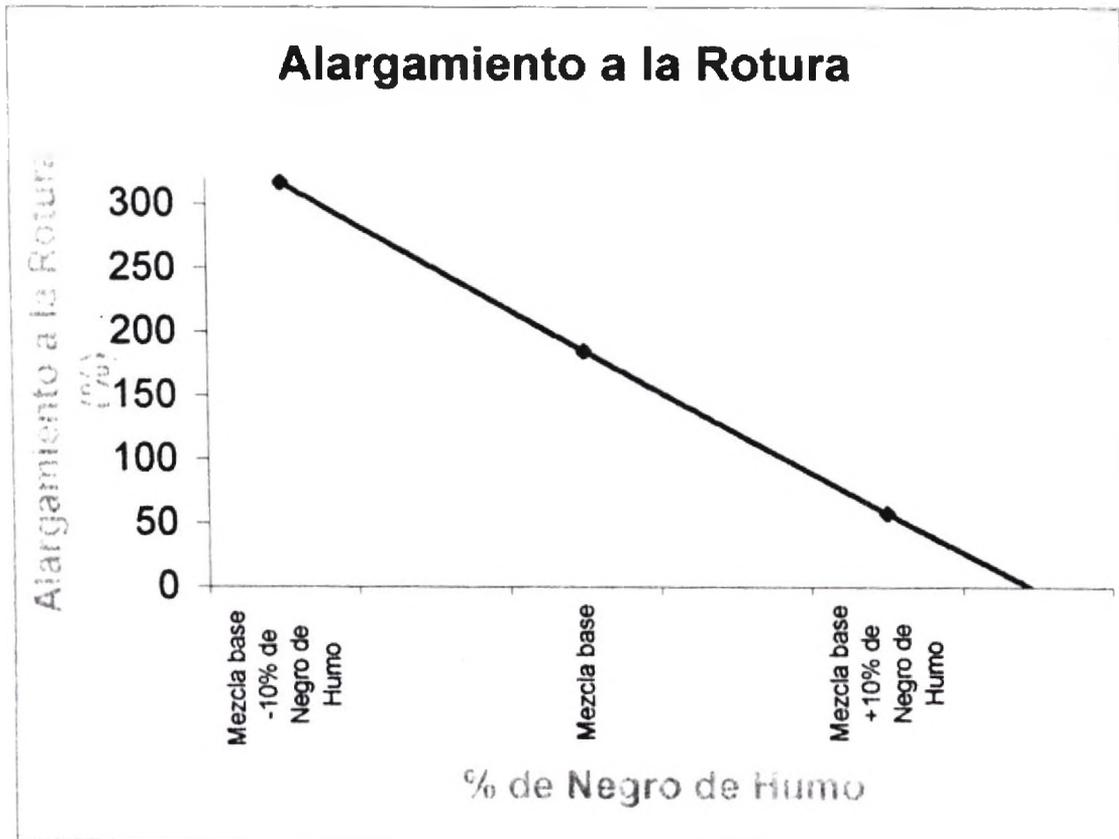


Figura 7.2. Alargamiento a la rotura vs. % de negro de humo

Si observamos la figura 7.2. tenemos que el alargamiento a la rotura disminuye conforme aumenta el porcentaje de negro de humo.



Basándonos en la tabla 4.4 tenemos la siguiente gráfica:

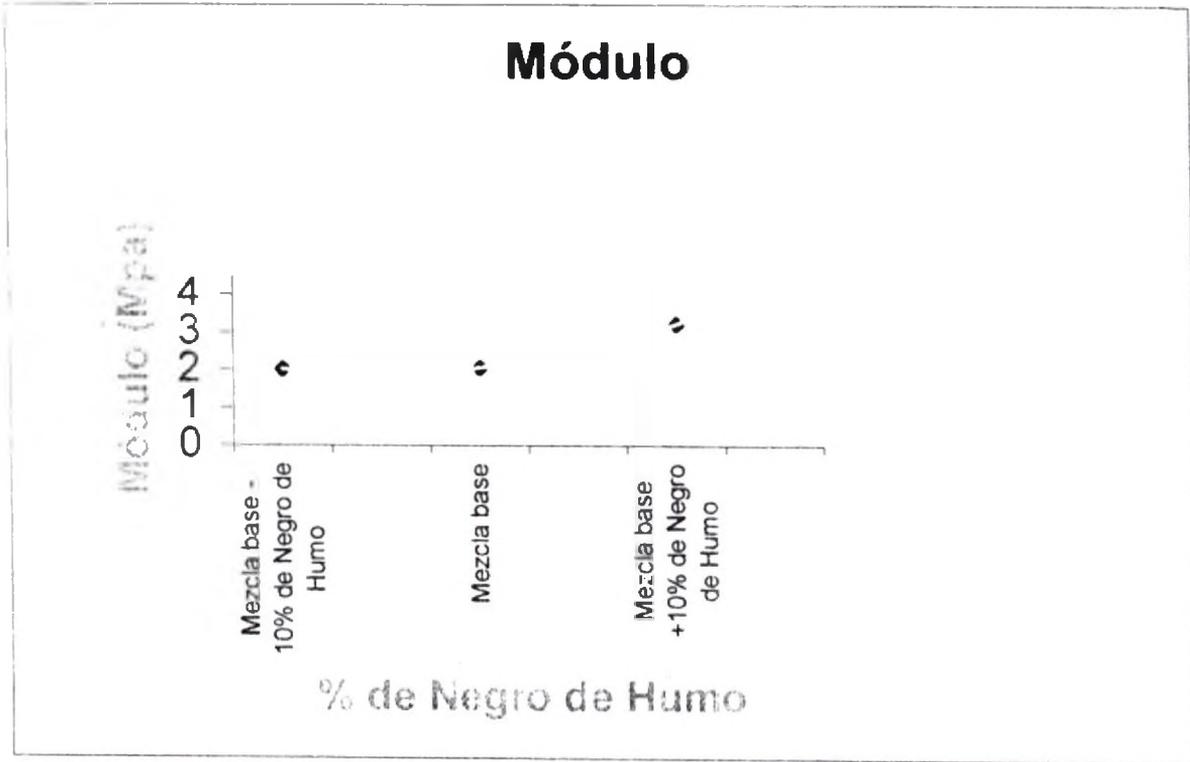


Figura 7.3 Módulo vs. % de negro de humo

El módulo aumenta al aumentar el porcentaje de carga.

Basándonos en la tabla 4.5 tenemos la siguiente gráfica:

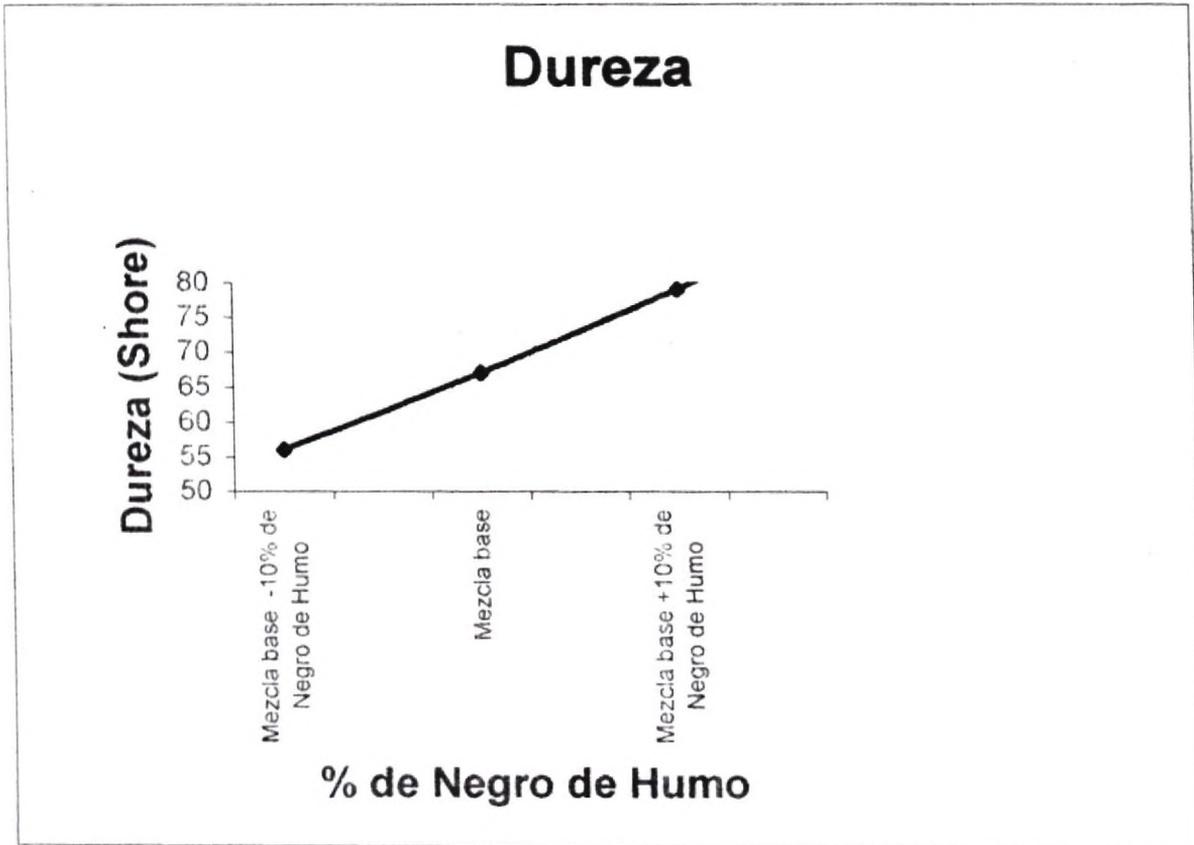


Figura 7.4. Dureza vs. % de negro de humo

La dureza aumenta al aumentar la carga.

Basándonos en la tabla 4.10 tenemos la siguiente gráfica:

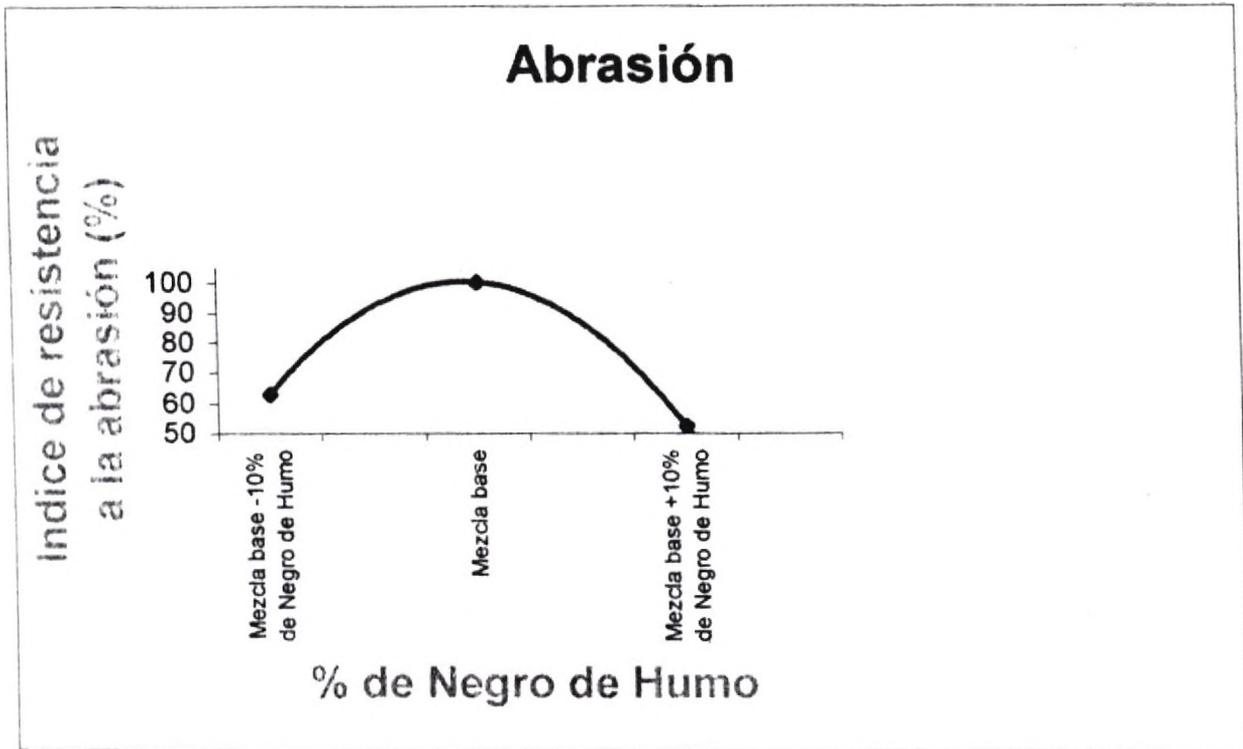


Figura 7.5. Abrasión vs. % de negro de humo

El índice de resistencia a la abrasión es bajo al tener poca cantidad de negro de humo; observamos que comienza a subir hasta cierto punto en donde la cantidad de carga es suficiente para que el índice de resistencia a la abrasión sea alto, luego sufre un descenso, ya que si la carga es alta la abrasión aumenta.

7.1.2. VARIACIÓN DE PLASTIFICANTE

Basándonos en la tabla 4.12 tenemos la siguiente gráfica:

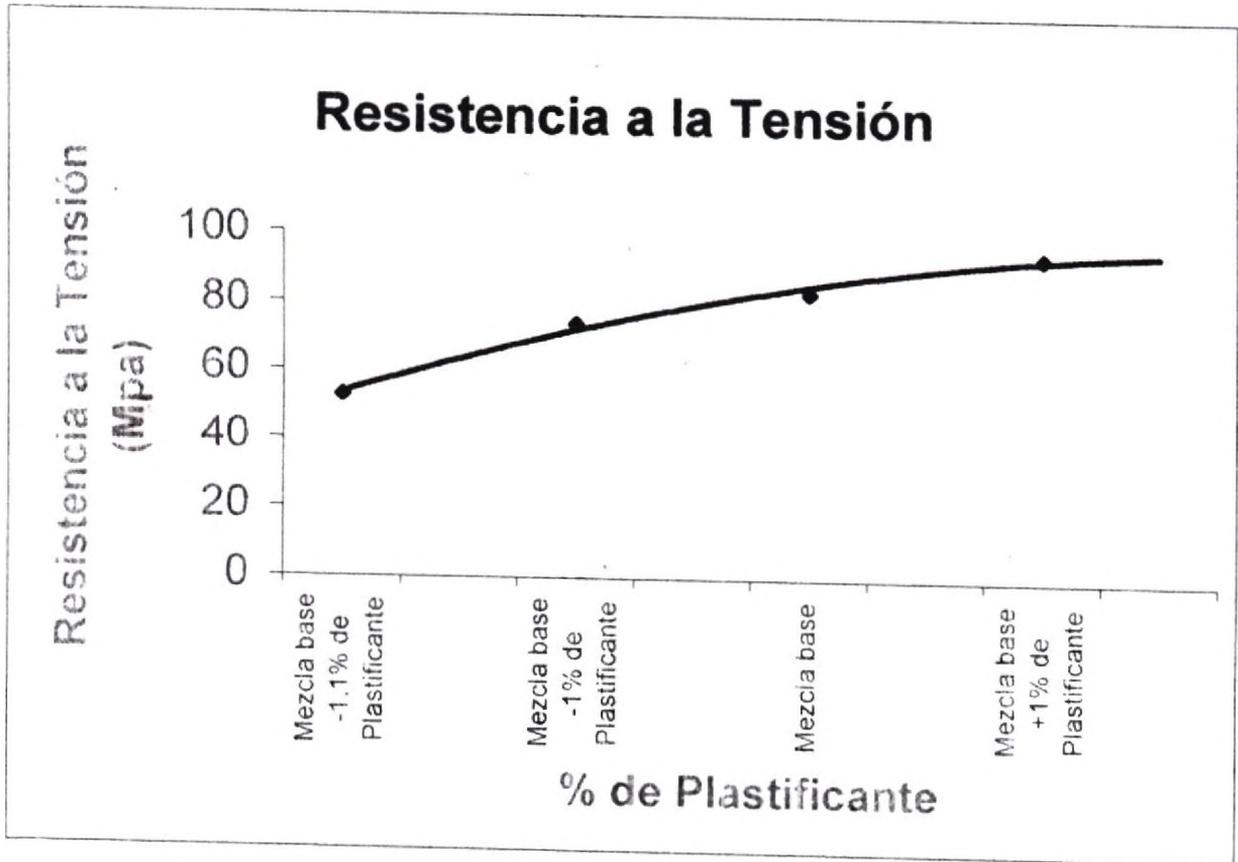


Figura 7.6. Resistencia a la tensión vs. % de plastificante

La resistencia a la tensión aumenta junto con el porcentaje de plastificante.

Basándonos en la tabla 4.13 tenemos la siguiente gráfica:

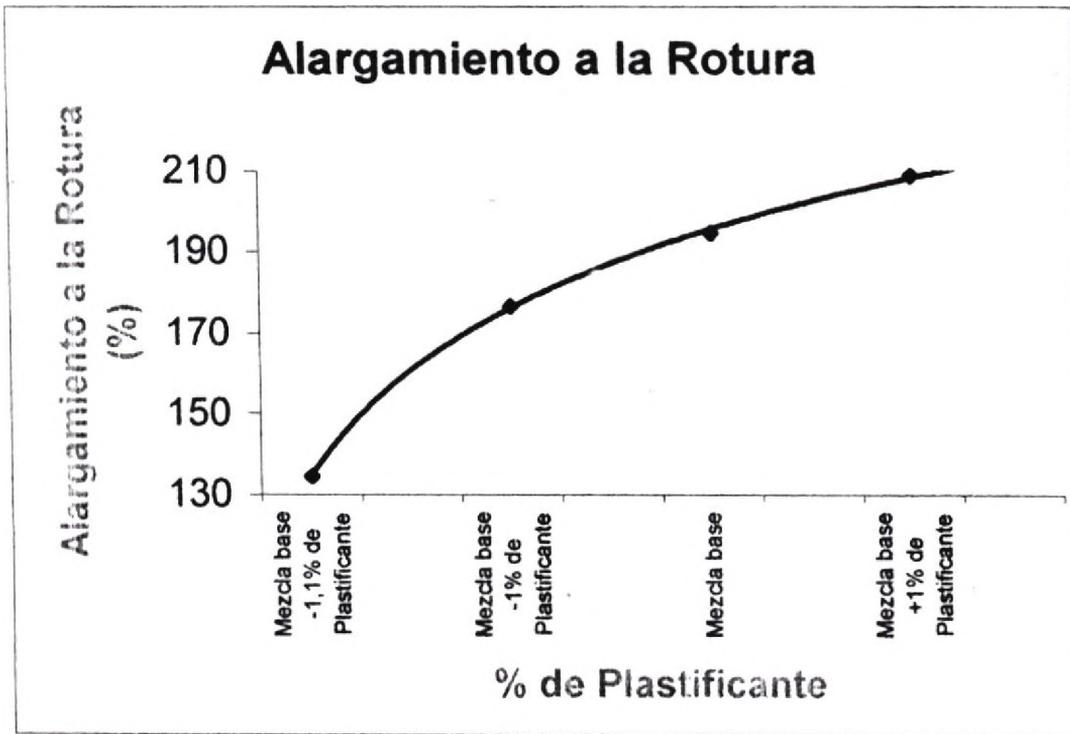


Figura 7.7. Alargamiento a la rotura vs. % de plastificante

El alargamiento a la Rotura aumenta conforme el aumento del porcentaje de plastificante.

Basándonos en la tabla 4.14 tenemos la siguiente gráfica:

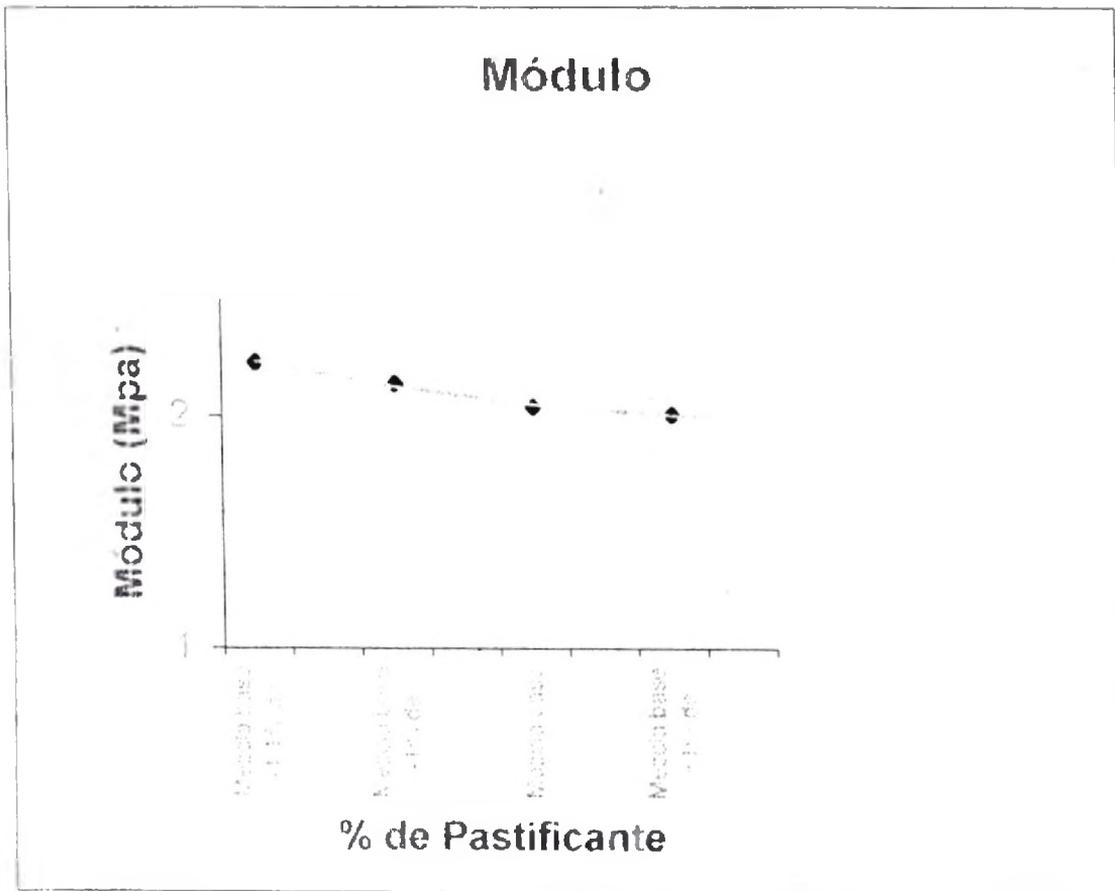


Figura 7.8 Módulo vs. % de plastificante

El módulo disminuye en pequeñísimos intervalos con el aumento de plastificante.

Basándonos en la tabla 4.15 tenemos la siguiente gráfica:

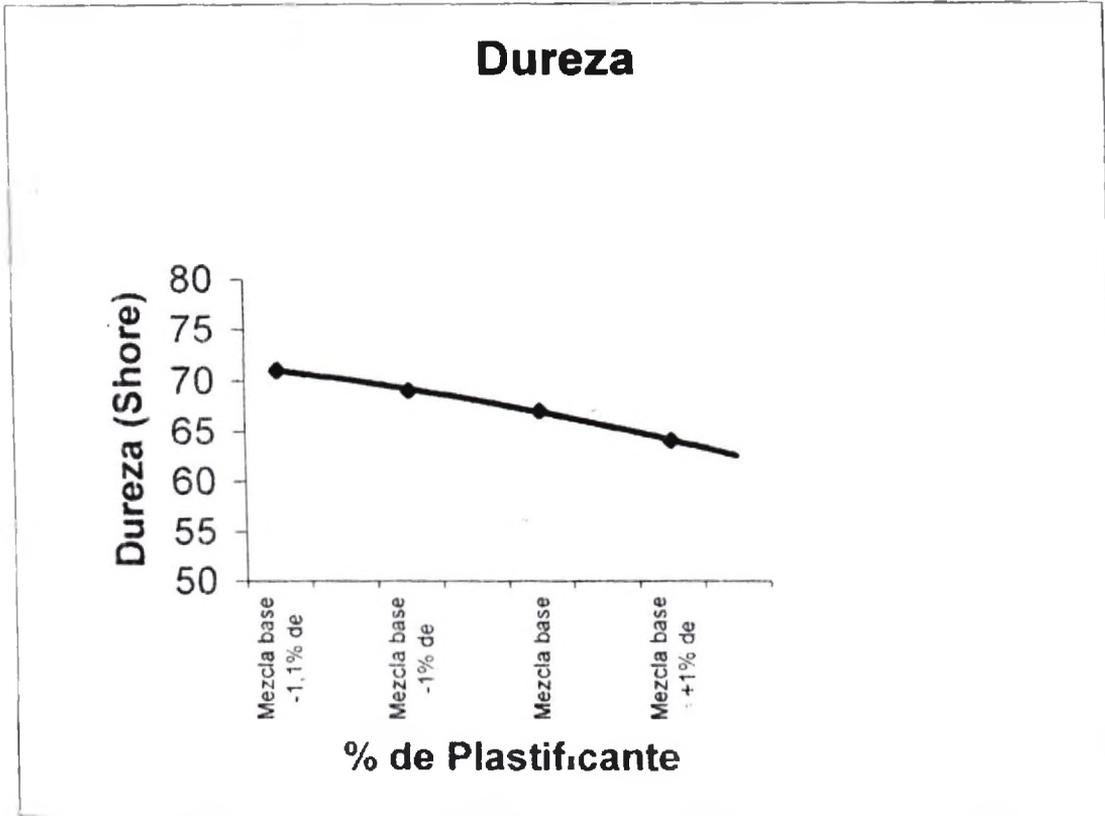


Figura 7.9 Dureza vs. % de plastificante

La dureza disminuye con el aumento de plastificante en la mezcla.

Basándonos en la tabla 4.21 tenemos la siguiente gráfica:

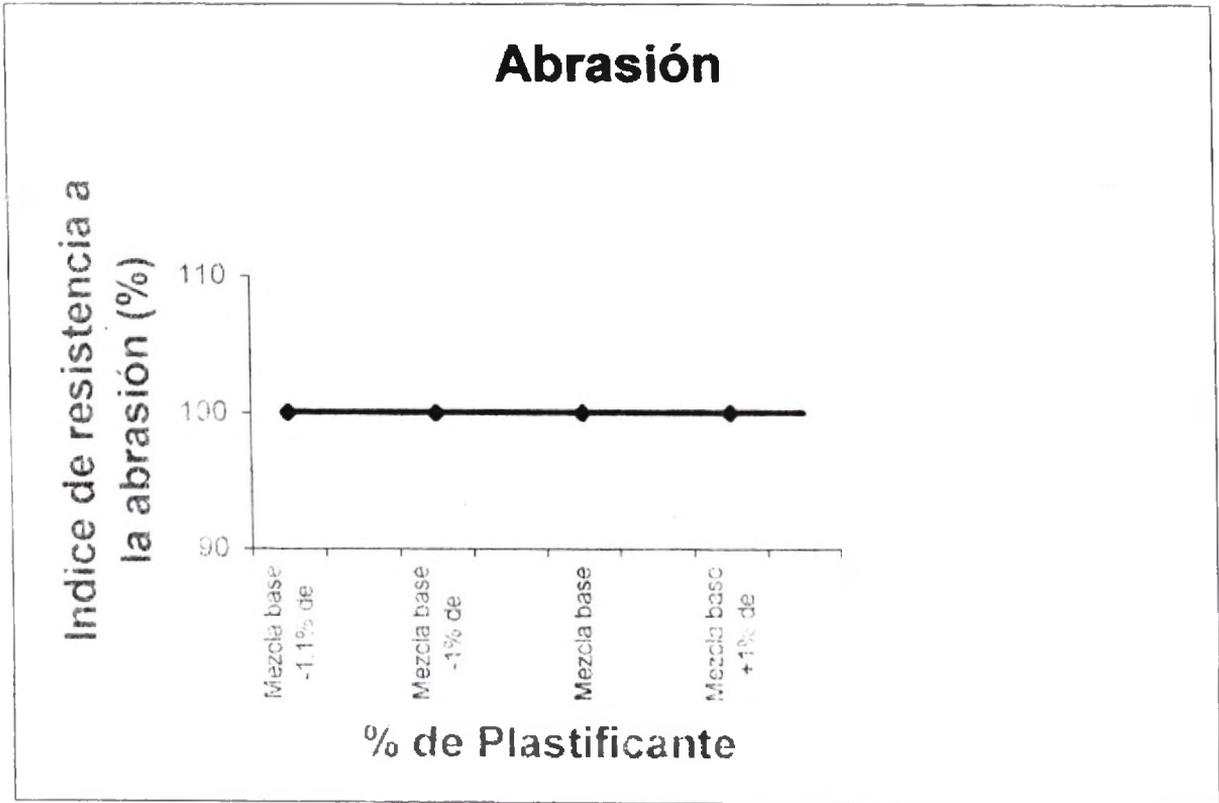


Figura 7.10 Resistencia a la abrasión vs. % de plastificante

El índice resistencia a la abrasión no presenta cambios con la variación de plastificante en la mezcla.

7.2. CAUCHO NITRÍLICO.

7.2.1. VARIACIÓN DE RUBBERSIL.

Basándonos en la tabla 6.2 tenemos la siguiente gráfica:

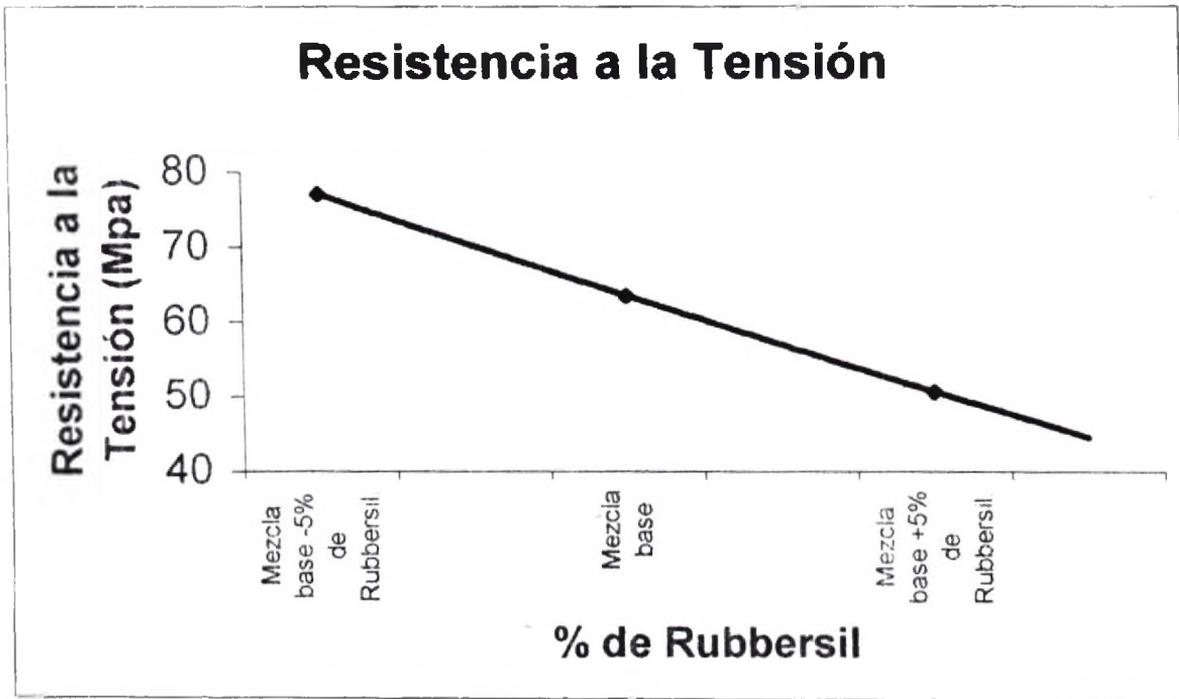


Figura 7.11 Resistencia a la tensión vs. % de Rubbersil

La resistencia a la tensión disminuye con el aumento de Rubbersil en la mezcla.

Basándonos en la tabla 6.3 tenemos la siguiente gráfica:

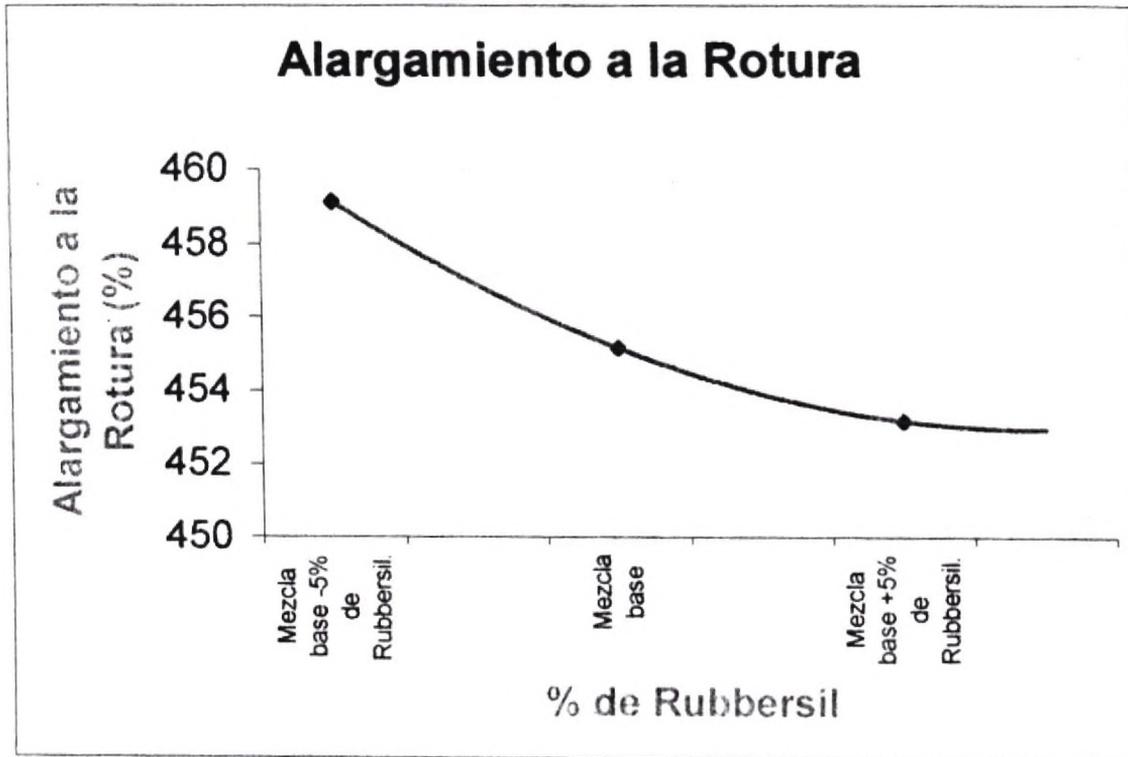


Figura 7.12 Alargamiento a la rotura vs. % de Rubbersil

El porcentaje de alargamiento a la rotura disminuye con el aumento de Rubbersil en la mezcla.

Basándonos en la tabla 6.4 tenemos la siguiente gráfica:

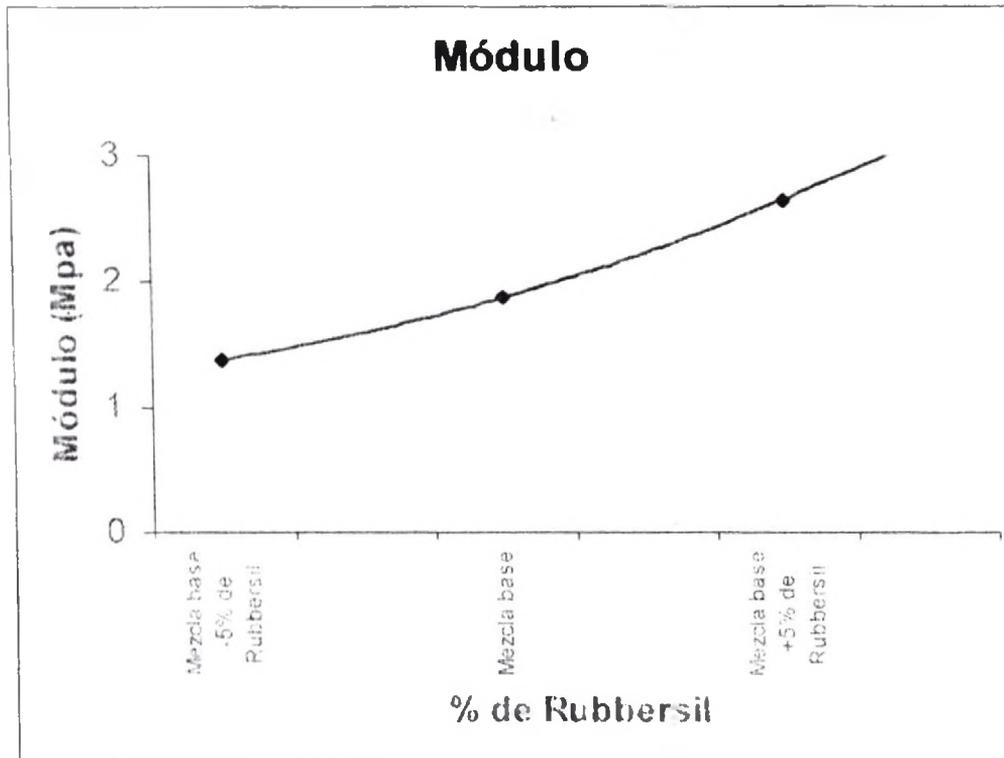


Figura 7.13 Módulo vs. % de Rubbersil

El módulo aumenta con el aumento de Rubbersil en la mezcla.

Basándonos en la tabla 6.5 tenemos la siguiente gráfica:

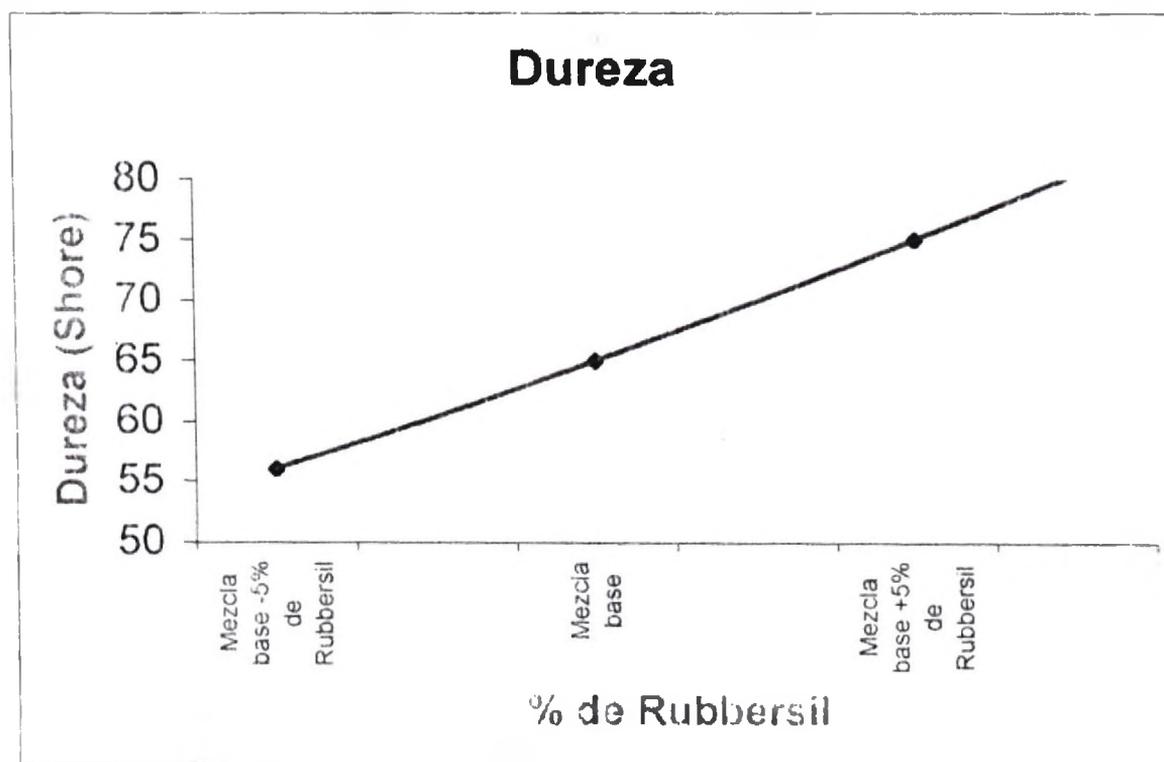


Figura 7.14 Dureza vs. % de Rubbersil

Se nota un gran aumento de la dureza, al aumentar el porcentaje de Rubbersil.

Basándonos en la tabla 6.11 tenemos la siguiente gráfica:

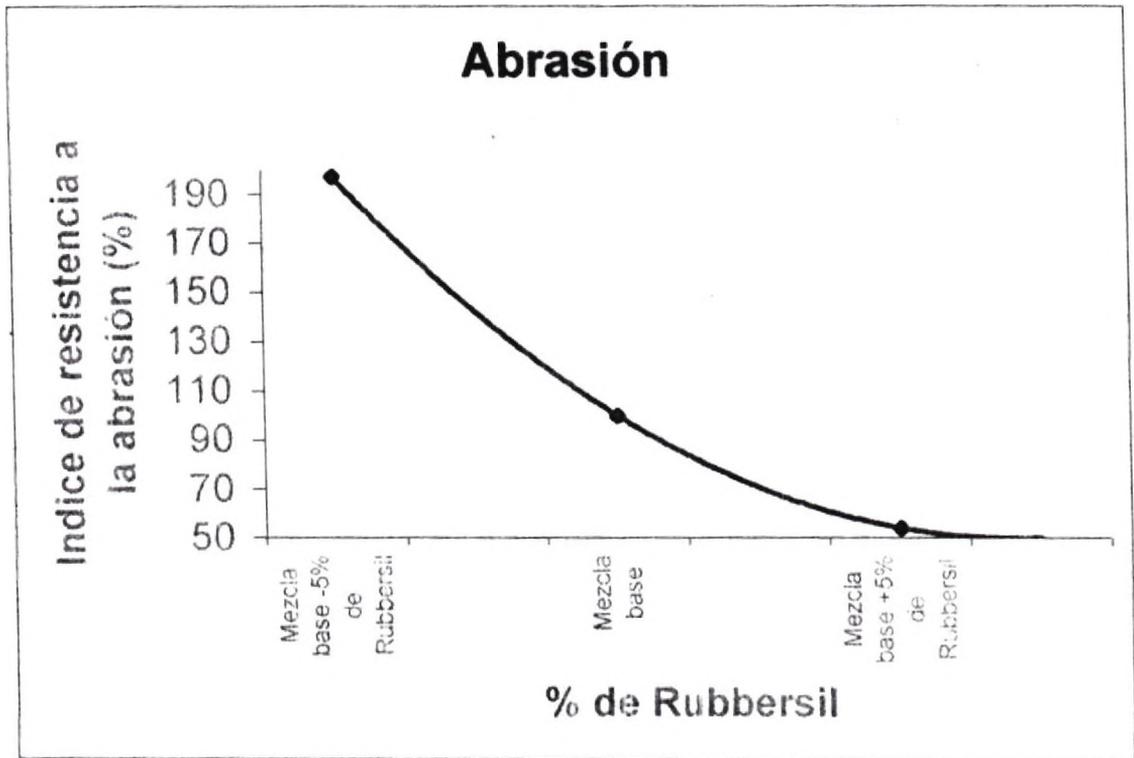


Figura 7.15 Resistencia a la abrasión vs. % de Rubbersil

Por la naturaleza química del caucho nitrílico de tener una alta dureza, el índice de resistencia a la abrasión disminuye conforme aumentamos la carga de Rubbersil.

7.2.2. VARIACIÓN DE PLASTIFICANTE

Basándonos en la tabla 6.13 tenemos la siguiente gráfica:

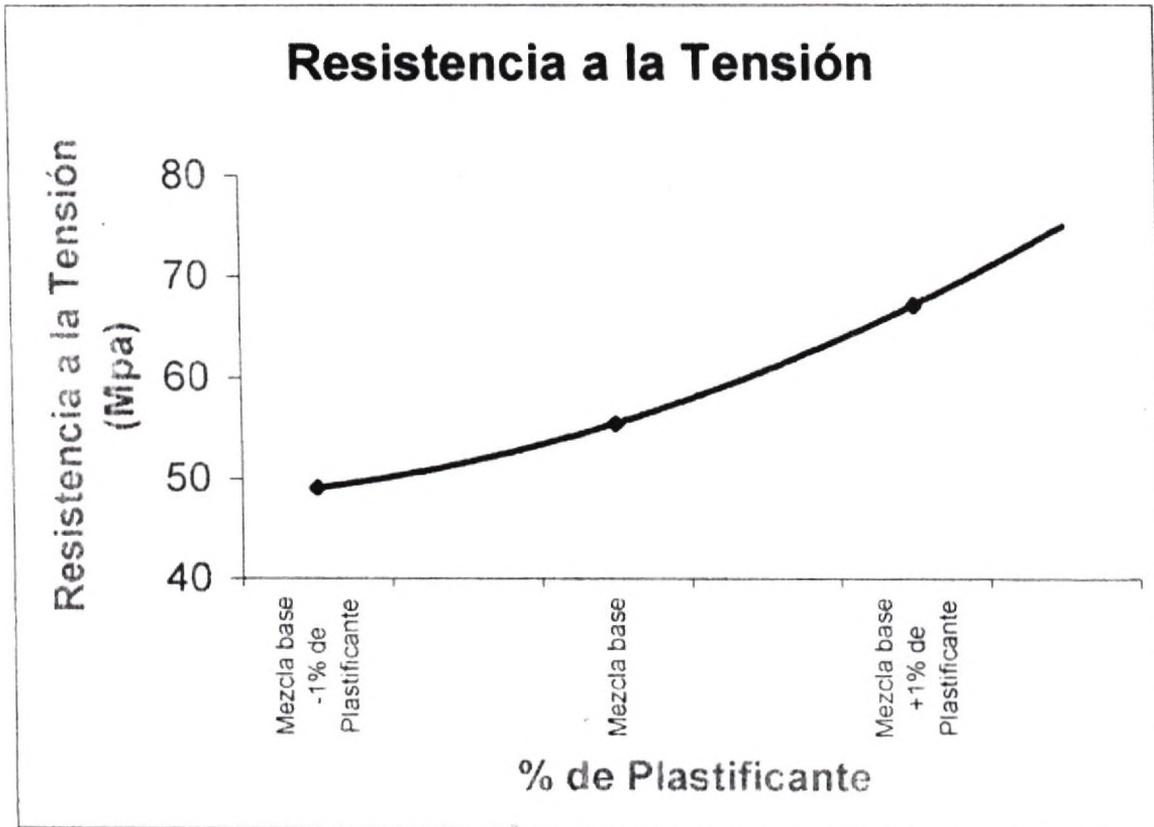


Figura 7.16 Resistencia a la tensión vs. % de Rubberxil.

La resistencia a la tensión aumenta, con el aumento de plastificante en la mezcla.

Basándonos en la tabla 6.14 tenemos la siguiente gráfica:

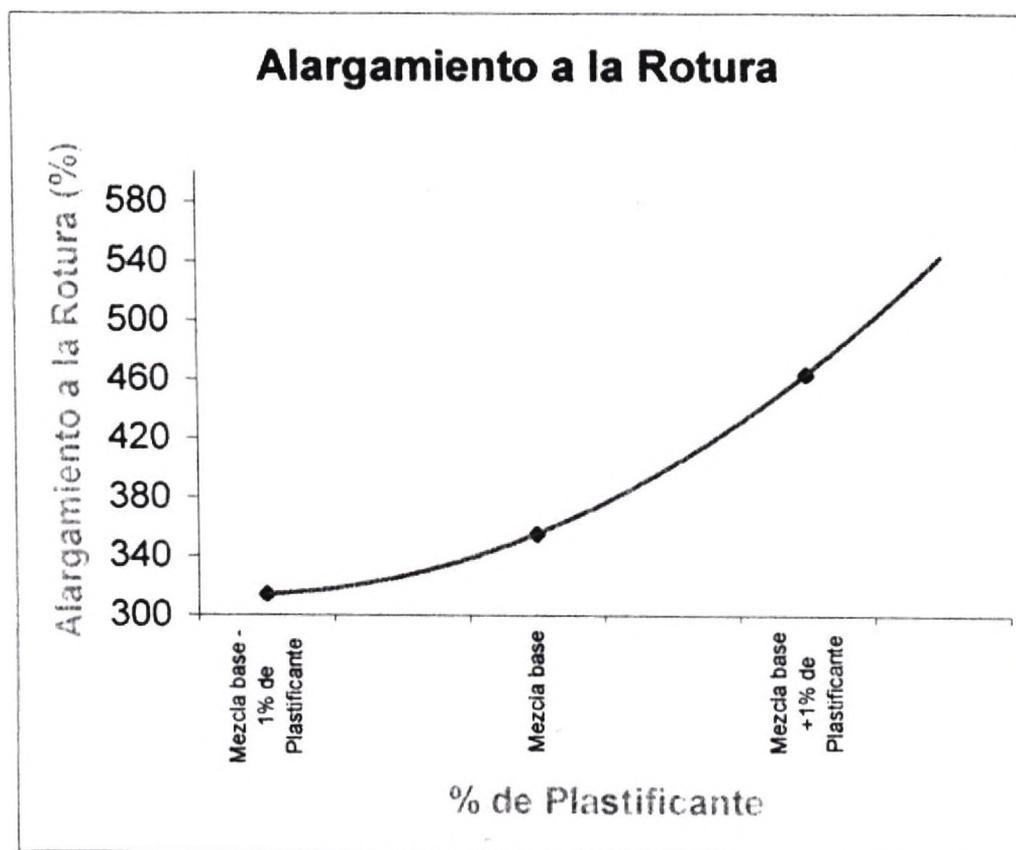


Figura 7.17 Alargamiento a la rotura vs. % de Rubbersil

El alargamiento a la rotura aumenta con el aumento de plastificante.

Basándonos en la tabla 6.15 tenemos la siguiente gráfica:

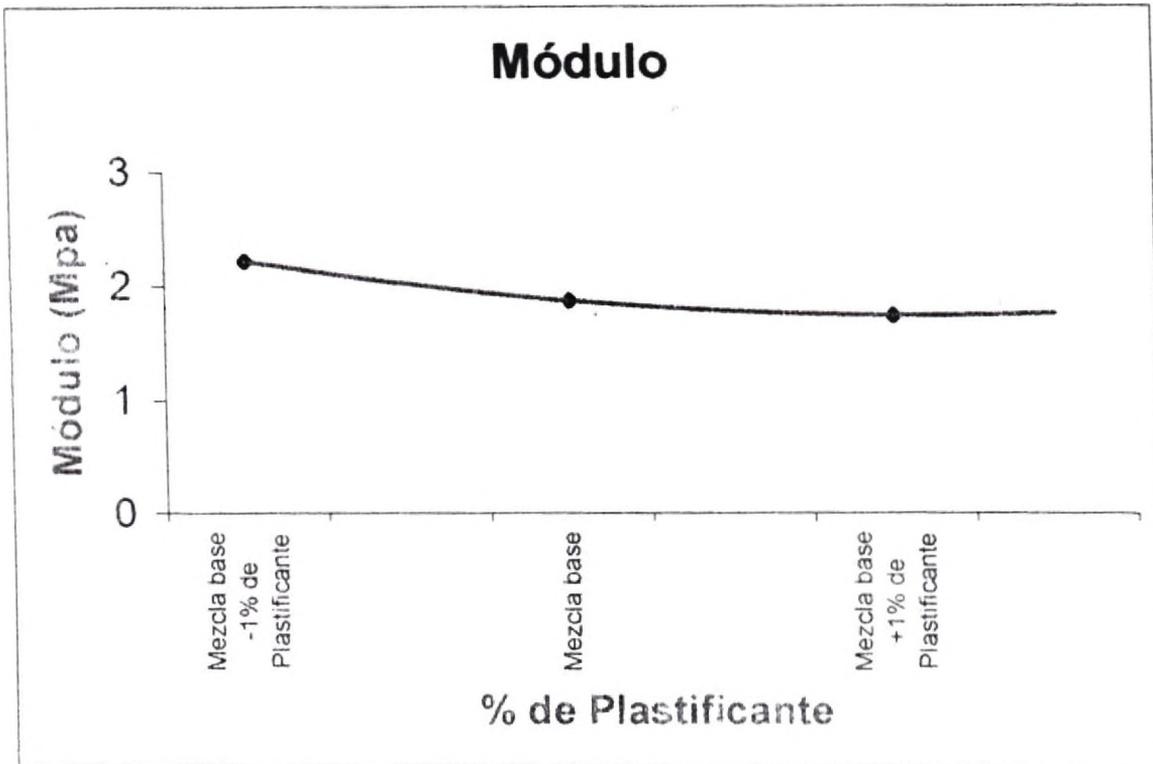


Figura 7.18 Módulo vs. % de Rubbersil

El módulo disminuye con el aumento de plastificante.

Basándonos en la tabla 6.16 tenemos la siguiente gráfica:

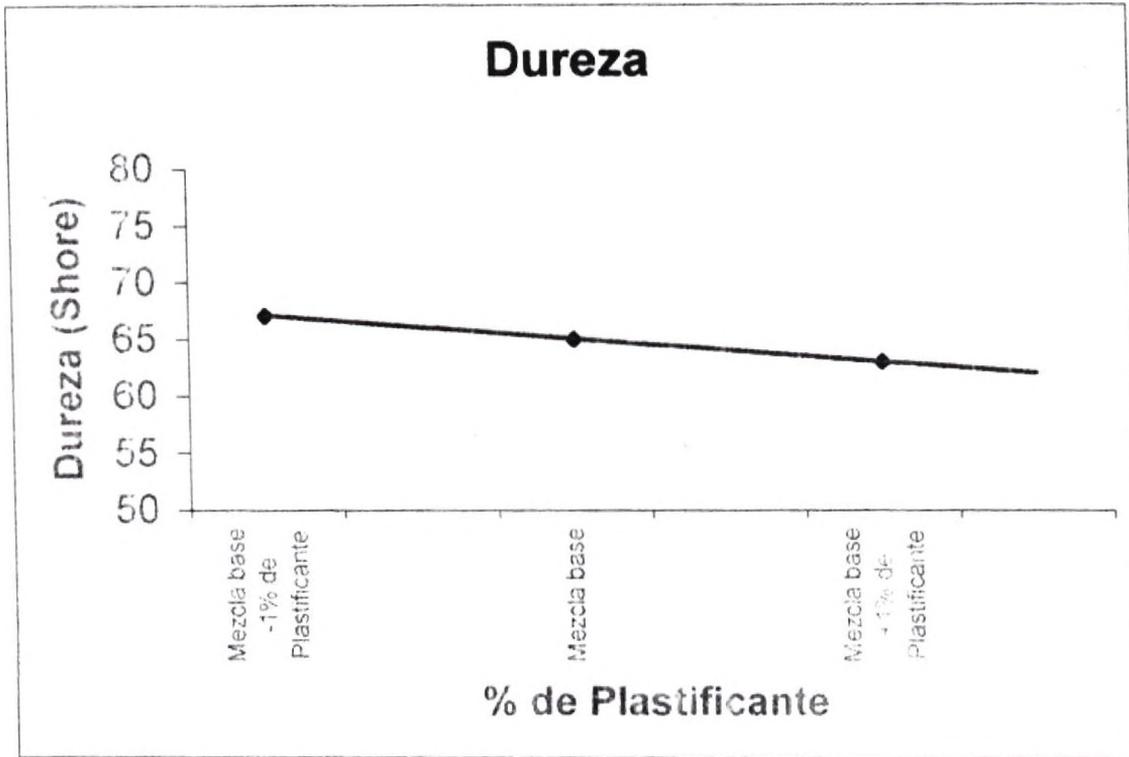


Figura 7.19 Dureza vs. % de Rubbersil

La dureza disminuye con el aumento de plastificante en la mezcla.

Basándonos en la tabla 6.21 tenemos la siguiente gráfica:

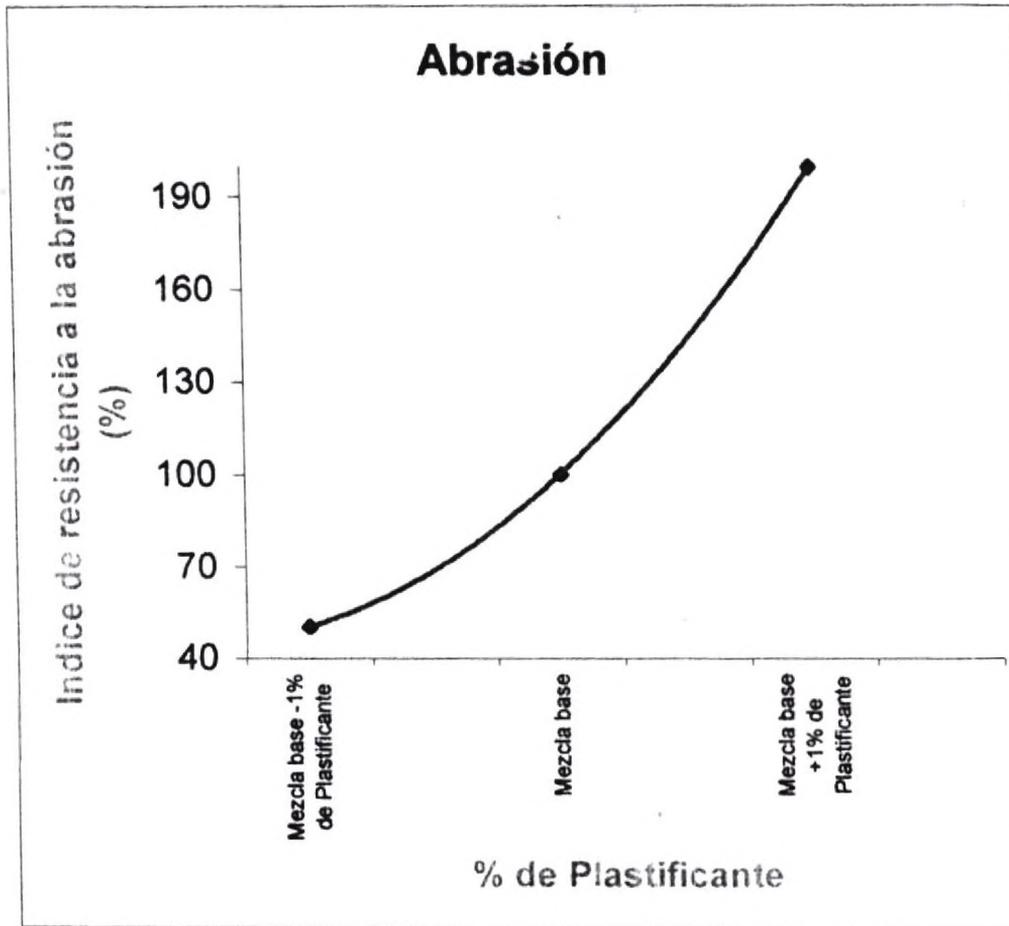


Figura 7.20 Resistencia a la abrasión vs. % de Rubbersil

El índice de resistencia a la abrasión aumenta con el aumento de plastificante en la mezcla.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

Caucho Natural. -

Resistencia a la Tensión. - Como sabemos la resistencia a la tensión es el cuociente entre la fuerza aplicada a la probeta, y el área de sección transversal.

Según la gráfica #7.1 de la página 83, vemos que conforme aumentamos la cantidad de carga la Resistencia a la Tensión disminuye, debido a que la elasticidad del compuesto baja con el aumento de negro de humo. Por lo tanto deducimos que la fuerza que debemos aplicar a la probeta para que se rompa es cada vez menor, conforme el aumento de carga.

Caso contrario sucede al adicionar plastificante a la mezcla, demostrando este hecho en la gráfica #7.6 página 88, ya que aquí la resistencia a la tensión aumenta porque aumenta la plasticidad del compuesto.

Alargamiento a la Rotura. - Es la relación entre las marcas previamente señaladas en la probeta al momento de romperse y la distancia que originalmente había entre las señales antes del ensayo.

Alargamiento a la rotura es el obtenido en el momento de romperse la probeta.

Según la gráfica #7.2 en la página 84, esta propiedad disminuye, conforme adicionamos carga, debido a que, aumenta la dureza por el reforzado entre las moléculas de caucho.

El alargamiento a la rotura sube en el caso de adicionar plastificante, como se observa en la gráfica #7.7 página 89, ya que este provoca un aumento en la elasticidad del compuesto, debido a que el plastificante tiene la propiedad de ablandar las moléculas de caucho, y a su vez permite una distribución homogénea de las cargas en la mezcla.

Módulo.- Como sabemos el módulo es la tensión necesaria para estirar la probeta hasta un valor determinado, por lo tanto, al aumentar la carga en una mezcla, necesariamente aumentamos la tensión y el módulo sube como vemos en la gráfica #7.3 página 85, debido a que aumenta la dureza de la mezcla.

En el caso de adicionar plastificante a la mezcla, ésta se vuelve más blanda y la tensión necesaria para estirar la probeta es cada vez menor como vemos en la gráfica #7.8 página 90, debido a que según adicionemos el plastificante, la mezcla se vuelve más elástica.

Dureza.- Se define como un módulo de compresión a baja deformación. Es la resistencia a la penetración de una punta rígida llamada indentor en la masa de un compuesto. Esta propiedad sube al aumentar el porcentaje de carga

como podemos observar en la gráfica #7.4 página 86, debido a que la muestra se hace más rígida con el aumento de negro de humo.

Al aumentar plastificante, la dureza disminuye como lo vemos en la grafica #7.9 página 91, ya que el plastificante permite la dispersión de las cargas en la mezcla haciéndola más blanda.

Abrasión.- Al hablar de este tema nos referiremos al índice de resistencia a la abrasión, y sabemos que es igual al cuociente entre la pérdida de volumen de la rueda patrón y la pérdida de volumen de la rueda de ensayo.

Si observamos la gráfica #7.5 de la página 87 vemos que al tener un caucho con poca cantidad de carga será un caucho suave por lo tanto la unión entre sus moléculas es débil, causando que estas se estiren y se desgarran fácilmente en pedazos grandes. Al comenzar a subir la carga en la mezcla aumenta su dureza por lo tanto es más fácil mantener sus moléculas unidas y su desprendimiento es menor; al llegar a niveles altos de carga esta unión entre moléculas pierde mucho de su elasticidad por lo que comienza a perder pequeños fragmentos de caucho y en mayor cantidad.

Al adicionar plastificante a la mezcla no tiene ningún efecto en la propiedad de abrasión tal como se demuestra en la gráfica #7.10 página 92 debido a la buena plasticidad propia del caucho natural.

Caucho Nitrílico.-

Las propiedades de resistencia a la tensión (pág. 93 y 98), alargamiento a la rotura (pág. 94 y 99), módulo (pág. 95 y 100) y dureza (pág. 96 y 101) varían de igual forma y por la misma razón que en el caucho natural, la diferencia tenemos solo en la abrasión.

Abrasión.- Como en el caso del caucho natural nos vamos a referir al índice de resistencia a la abrasión, y esta propiedad disminuye conforme aumentamos la carga como vemos en la gráfica #7.15 página 97, esto se debe a que si tomamos en cuenta que el caucho nitrílico es un caucho duro por naturaleza, al aumentar el Rubbersil sus uniones entre moléculas casi no tienen elasticidad y comienzan a desprenderse pequeños fragmentos del caucho.

Al aumentar plastificante aumentamos la elasticidad que existe en la unión entre moléculas, por lo que se hace más difícil que estas se separen moléculas se rompa, por lo tanto el índice de resistencia a la abrasión aumenta como vemos en la gráfica #7.20 página 102.

Recomendaciones.

- Según las conclusiones y gráficas obtenidas anteriormente se puede recomendar que si se desea tener un caucho resistente a la tensión, con un buen alargamiento a la rotura se deberá disminuir la carga y/o aumentar la cantidad de plastificante, tanto para el caucho natural como para el nitrílico.
- Caso contrario sucede para el módulo y la dureza, ya que al aumentar la carga y/o disminuir la cantidad de plastificante, los valores de estos aumentarán.
- La abrasión con caucho natural: para índices de resistencia a la abrasión bajos, la cantidad de negro de humo se utilizará en proporciones cercanas a las extremas, es decir o bien altas, o bien bajas; y para índices de resistencia a la abrasión altos, la proporción de negro de humo será media. El plastificante no causa ningún efecto en esta propiedad.

La abrasión con caucho nitrílico: para aumentar el índice de resistencia a la abrasión se debe disminuir la cantidad de rubbersil y/o aumentar plastificante

BIBLIOGRAFÍA

- TRATADO MODERNO DE LAS INDUSTRIAS DEL CAUCHO.
Autor: Antonio Soler Amor.
- CAUCHOS Y ELASTÓMEROS.
Autor: M. Vidal de Cárcer.
- TECNOLOGÍA BÁSICA DEL CAUCHO.
Autor: Ing. Esteban Friedenthal.
- EL LENGUAJE DEL CAUCHO.
- Colección de revistas CAUCHOTECNIA.
- Manual de productos químicos BAYER