

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE UNA
PELÍCULA DE LÁTEX NATURAL CENTRIFUGADO (*Hevea brasiliensis*), VARIANDO
LAS CONCENTRACIONES DE LOS AGENTES VULCANIZADORES AL SER
FABRICADO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN EN COAGULANTE.

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

LESTER ROBERTO MORALES PAZ

PREVIO A OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JULIO DE 1999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE UNA PELÍCULA DE LÁTEX NATURAL CENTRIFUGADO (*Hevea brasiliensis*), VARIANDO LAS CONCENTRACIONES DE LOS AGENTES VULCANIZADORES AL SER FABRICADO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN EN COAGULANTE.

Tema que se me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 2 de febrero de 1999.

LESTER ROBERTO MORALES PAZ

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2o.	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL 3o.	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL 4o.	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL 5o.	Br. Mauricio Grajeda Mariscal
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszuek
EXAMINADOR	Ing. Williams Alvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León De Paz
EXAMINADOR	Ing. Manuel Tay Oroxom
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier Gonzalez López

Guatemala, 4 de Marzo de 1999

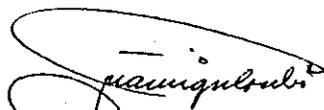
Ingeniero
Otto Raúl de León de Paz
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero de León.

Por la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que, habiendo revisado el informe final de Tesis del estudiante Lester Roberto Morales Paz, carnet No. 092-0010, titulado: **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE UNA PELÍCULA DE LÁTEX NATURAL CENTRIFUGADO (*Hevea brasiliensis*), VARIANDO LAS CONCENTRACIONES DE LOS AGENTES VULCANIZADORES AL SER FABRICADO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN EN COAGULANTE**, me permito darle aprobación al mismo.

Sin otro particular me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Juan Miguel Rubio Romero
Colegiado No. 1685
ASESOR

Guatemala, 4 de Marzo de 1999

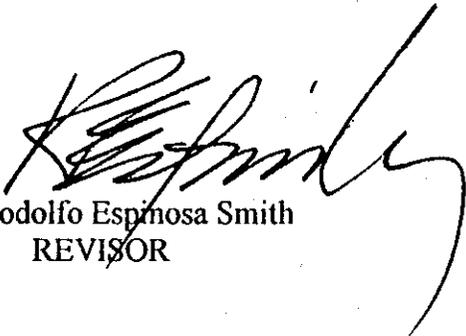
Ingeniero
Otto Raúl de León de Paz
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero de León.

Por la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que, habiendo revisado el informe final de Tesis del estudiante Lester Roberto Morales Paz, carnet No. 092-0010, titulado: **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE UNA PELÍCULA DE LÁTEX NATURAL CENTRIFUGADO (*Hevea brasiliensis*), VARIANDO LAS CONCENTRACIONES DE LOS AGENTES VULCANIZADORES AL SER FABRICADO POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN EN COAGULANTE**, me permito darle aprobación al mismo.

Sin otro particular me suscribo de usted,

Atentamente,

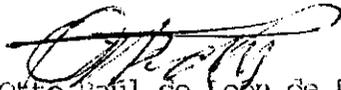


Ing. Rodolfo Espinosa Smith
REVISOR



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química; Ingeniero Otto Raúl de León de Paz, después de conocer el dictamen del asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante Lester Roberto Morales Paz, titulado: **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE UNA PELICULA DE LATEX NATURAL CENTRIFUGADO (Hevea brasiliensis), VARIANDO LAS CONCENTRACIONES DE LOS AGENTES VULCANIZADORES AL SER FABRICADO POR EL METODO DE INMERSION EN COAGULANTE.**


Ing. Otto Raúl de León de Paz
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA

Guatemala, 7 de julio de 1,999

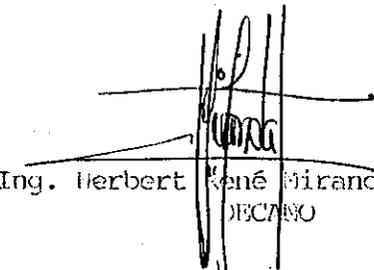
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE UNA PELICULA DE LATEX NATURAL CENTRIFUGADO (Hevea brasiliensis), VARIANDO LAS CONCENTRACIONES DE LOS AGENTES VULCANIZADORES AL SER FABRICADO POR EL METODO DE INMERSION EN COAGULANTE** del estudiante **Lester Roberto Morales Paz**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, 7 de julio de 1,999.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS NUESTRO CREADOR:

Fuente de luz y sabiduría eterna.

A MI MADRE:

quien con amor, sabiduría, dedicación y mucho esfuerzo me ayudó a alcanzar esta meta.

A LA FAMILIA ROLDÁN ORTIZ:

quienes me han dado su ayuda constante e incondicional, así como su apoyo moral.

A LA FAMILIA LARRAVE SAN JUAN:

quienes con su sincera amistad y ayuda he podido contar a lo largo de mi vida. Especialmente al Dr. Juan Rodrigo Larrave Garín (Q.E.P.D).

A MI NOVIA:

por su apoyo moral y espiritual.

AGRADECIMIENTOS

AL INGENIERO JUAN MIGUEL RUBIO
ROMERO

por su asesoría en la elaboración de
esta tesis.

AL DOCTOR RODOLFO ESPINOSA SMITH

por darme los lineamientos y
correcciones necesaria.

A LA EMPRESA TILLY DE GUATEMALA S.A.:

por la ayuda prestada en la
elaboración de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

Título	Pág.
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	VI
INTRODUCCIÓN	XI
SUMARIO	XIII
JUSTIFICACIÓN	XV
OBJETIVOS	XVII
HIPÓTESIS	XVIII
ANTECEDENTES	XIX
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Látex natural	1
1.1.1. Látex normal	3
1.1.2. Látex centrifugado	4
1.1.3. Látex cremificado	4
1.1.4. Otros látex concentrados	5
1.1.5. Estructura química del caucho	6
1.2. Polimerización	7
1.3. Vulcanización	8
1.4. Método de inmersión en coagulante	11
1.5. Elasticidad	11
1.5.1. Deformación	12
1.5.2. Esfuerzo o fatiga	12

1.5.3 Módulo de elasticidad	14
2. METODOLOGÍA	15
2.1 Localización	15
2.2 Metodología experimental	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
APÉNDICE	33
1. Datos estadísticos	34
2. Procedimientos	36
3. Tablas de resultados	64
4. Gráficas de esfuerzo versus deformación unitaria para diferentes sistemas de curado	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS		
No.	Título	Pág.
1	Isopreno (2-metilbutadieno)	6
2	cis-1,4-poliisopreno	6
3	trans-1,4-polisopreno	7
4	Propeno	8
5	Látex vulcanizado	9
6	Dimensiones de sacabocado	37
7	Corte de globo	38
8	Aparato para medir esfuerzos	39
9	Aparato para vulcanizar	53
10	Aparato para filtrar al vacío	58
11	Gráfica de Látex Occidental	82
12	Gráfica de Qualatex	83
13	Gráfica de fórmula base	84
14	Parte a. Gráfica de látex sin vulcanizar	85
14	Parte b. Gráfica de látex sin vulcanizar	86
15	Gráfica del 0 % de acelerador	87
16	Gráfica del 158 % de acelerador	88
17	Gráfica del 315 % de acelerador	89
18	Gráfica del 0 % de agente vulcanizador	90
19	Gráfica del 158 % de agente vulcanizador	91

20	Gráfica del 315 % de agente vulcanizador	92
21	Gráfica del 0 % de donador de azufre	93
22	Gráfica del 158 % de donador de azufre	94
23	Gráfica del 315 % de donador de azufre	95

TABLAS

No.	Título	Pág.
I	Composición del látex normal	3
II	Composición del látex centrifugado	4
III	Producción de hule natural en Guatemala durante 1993 a 1996	34
IV	Venta de hule natural en Guatemala durante 1993 a 1996	35
V	Fórmula 3	49
VI	Fórmula 4	50
VII	Fórmulas 5, 6 y 7	50
VIII	Fórmulas 8, 9 y 10	51
XIX	Fórmulas 11, 12 y 13	51
X	Fórmula 14	56
XI	Látex occidental	65
XII	Qualatex	65
XIII	Fórmula base	66
XIV	Látex sin vulcanizar	66
XV	0 % de acelerador	67
XVI	158 % de acelerador	67
XVII	315 % de acelerador	68
XVIII	0 % de agente vulcanizador	68
XIX	158 % de agente vulcanizador	69

XX	315 % de agente vulcanizador	69
XXI	0 % de donador de azufre	70
XXII	158 % de donador de azufre	70
XXIII	315 % de donador de azufre	71
XXIV	Propiedades fisico-químicas de los compuestos	72
XXV	Pruebas de grado de vulcanización de látex formulado	74
XXVI	Análisis fisico-químicos del látex ya formulado	75
XXVII	Cálculo estadístico	76
XXVIII	Cálculo de errores estadísticos	78
XXIX	Cálculo de errores estadísticos	79

GLOSARIO

- Acelerador** Es un material formulando en cantidades pequeñas con un agente vulcanizador para incrementar la velocidad de vulcanización (1).
- Activador** Es un compuesto químico usado en proporciones pequeñas para incrementar la efectividad de un acelerador (1).
- Aglomeración** Es la unión reversible o irreversible de las partículas de látex (1).
- Agente vulcanizador** Es un compuesto químico que produce polimerización en el hule (1).
- Anticoagulante** Es un compuesto químico adicionado al látex en las plantaciones para retardar la acción de las bacterias que provocan la rápida coagulación del látex (1). (La palabra estabilizador generalmente se usa en lugar de anticoagulante.)
- Coagulación** Es la aglomeración irreversible de las partículas originalmente dispersas en el látex (1).

Curado óptimo	Es el estado de vulcanización en el cual el valor de cierta propiedad o propiedades se obtiene (1).
Elongación	Es un estiramiento producido por una fuerza de tensión (1).
Esfuerzo a una elongación dada	El esfuerzo requerido para estirar uniformemente la sección transversal de una muestra a una elongación dada (1).
Estabilidad mecánica del látex	La habilidad del látex para resistir la coagulación cuando es sometido a la influencia de la agitación mecánica (1).
Estabilizador del látex	Es un compuesto químico incorporado al látex para prevenir la aglomeración/coagulación de las partículas de hule, especialmente durante la formulación y el subsecuente proceso (1).
Hinchamiento o dilatación	Es el incremento en el volumen de una muestra sumergida en un líquido o expuesta a vapor (1).
Hule Natural	cis-1,4-poliisopreno que es obtenido de una planta, usualmente de la <i>Hevea brasiliensis</i> (1).

Hule sintético	Hule producido por polimerización de uno o más monómeros con o sin una modificación química de la post-polimerización (1).
Inmersión por coagulante	Proceso de inmersión donde la horma para hacer el producto es sumergida en una solución de coagulante, luego secada y sumergida en el látex (1).
Inmersión en látex	Proceso en el cual una capa de hule es depositada en un molde u horma como resultado de una inmersión de ésta en látex formulado (1).
Látex	Dispersión acuosa coloidal de hule (1).
Látex cremado	Proceso reversible que consiste en unir por medio de la fuerza de la gravedad partículas de hule rodeadas por suero, cerca del fondo y de la superficie del látex. Esto es generalmente llevado a cabo adicionando un agente cremante (1).
Látex centrifugado	Látex en el cual a sido concentrada la cantidad de hule removiendo el suero por medio de una fuerza centrífuga (1).
Látex evaporado	Látex en el cual es concentrada la cantidad de hule evaporando cierta cantidad de agua (1).

Látex prevulcanizado	Látex en el cual las partículas de hule han sido suficientemente vulcanizadas para producir películas y artículos útiles solamente con secar las películas (1).
Látex estabilizado	Látex tratado de cierta forma para prevenir una coagulación prematura (1).
Polimerización	Es una reacción química en la que se forman moléculas muy grandes constituidas por subunidades que se repiten (1).
Polímeros	Moléculas muy grandes constituidas por subunidades que se repiten (1).
Preservante (látex)	Un compuesto químico adicionado al látex no formulado antes o después de la concentración para inhibir la putrefacción y la coagulación (1).
Sobrecurado	Es el estado de vulcanización pasado el estado de curado óptimo (1).
Sistema de vulcanización con donador de azufre	Es un sistema en el cual no hay azufre elemental presente y todo el azufre presente para la polimerización es proveído por la descomposición parcial de compuestos que contienen azufre (1).

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza todos los cuerpos cambian de forma y éstos son importantes, tanto desde el punto de vista teórico como práctico. Experimentalmente, se puede obtener el comportamiento de materiales sometidos a esfuerzos; para ello se construye una gráfica de esfuerzo versus deformación unitaria ya que este comportamiento depende únicamente del material en cuestión. Para los materiales elásticos y en la región donde se cumple la Ley de Hooke llamamos **Módulo de Elasticidad** a la constante de proporcionalidad entre los esfuerzos y las deformaciones unitarias. Esta constante es una característica del material y depende de que tipo de esfuerzo se trate.

Durante el proceso de **vulcanización** se agregan ciertos compuestos químicos llamados **agentes vulcanizantes** los cuales reaccionan con las moléculas de hule formando enlaces entre sí, debido a que se forman estos enlaces el material cambia sus propiedades fisico-químicas y dependiendo de las concentraciones usadas de estos químicos así es el cambio en estas propiedades.

Una forma de medir que tan densa es la formación de estos enlaces es por medio del módulo de elasticidad. En el mercado existen globos de marca extranjera que parecieran tener ciertas propiedades elásticas diferentes al globo fabricado en Guatemala, esto es analizado mediante el uso de diferentes fórmulas aplicadas a diversas concentraciones de agentes vulcanizantes y posteriormente analizando el módulo de elasticidad.

En este estudio se trata de mejorar el módulo de elasticidad de la película de látex utilizado actualmente en la fabricación de globos en Guatemala por el método de inmersión en coagulante, para ello se utilizó como medida de comparación el módulo de

elasticidad(estándar) de los globos mexicanos marca PAYASO fabricados por la empresa Látex Occidental S.A. de C.V., ya que este país es el principal productor de globo de látex en el ámbito mundial.

Para cambiar el módulo de elasticidad actual se debe cambiar la estructura química del material, por lo que se realizaron varias fórmulas basadas en la fórmula base para determinar cuales son las mejores concentraciones de agentes vulcanizantes a utilizar. Así también se realizaron análisis fisico-químicos del látex ya vulcanizado, para observar los distintos cambios al ir variando las concentraciones de estos químicos.

En la actualidad, en Guatemala se carece de información la fabricación de globos de látex ya que es una industria que apenas acaba de iniciarse. En cambio, sí existe bastante literatura relacionada al tema del hule, su procesamiento, análisis y una información general de los diversos tipos de productos que se pueden fabricar de él. Esta es una de las razones por las cuales este estudio ayudará al profesional a entender un poco mejor el procesamiento de látex para producir globos de látex por el método de inmersión en coagulante.

SUMARIO

Este trabajo de investigación y experimentación se realiza con el objeto de obtener un mejor globo de látex natural centrifugado proveniente del árbol *Hevea brasiliensis* que sea de similares características de deformación y tensión a los que ya existen en el mercado y que han sido aceptados por el consumidor final. Así otro de los objetivos es el estudio de los efectos que tienen los distintos compuestos que se le agregan al látex natural durante el proceso de vulcanización dando así las características físico-químicas deseables al producto final.

Durante la elaboración del estudio se realizaron análisis físico-químicos de todos los compuestos a utilizar en las fórmulas. También se analizó antes y después de la vulcanización del látex natural, lo cual ayuda a entender mejor que cambios físico-químicos ocurrieron durante la vulcanización.

Durante la realización de este estudio se tomó el módulo de elasticidad del globo mexicano marca Payaso como el estándar. Luego se hizo un análisis de los compuestos y del látex, después se crearon 9 fórmulas en las cuales se variaron las concentraciones del acelerador, agente vulcanizador, y del donador de azufre, con los demás ingredientes constantes, las cuales se pueden ver en las páginas 49 a la 51.

Además, se realizaron otras dos pruebas: una fórmula base que sirve de partida para las otras 10 fórmulas y una sin agentes vulcanizadores, ni estabilizadores para observar el comportamiento del látex sin vulcanizar.

Por último se tomo un globo estadounidense de marca Qualatex como otra medida de comparación alterna. La prueba de vulcanización se realizó con una concentración de sólidos totales de 46%.

Finalizada cada una de las vulcanizaciones se hicieron películas de látex por medio del método de inmersión en coagulante y luego se calculó el módulo de elasticidad de cada una de las fórmulas y se comparó con el estándar, para determinar que compuestos pueden variarse de tal forma para que el módulo tienda a ser parecido o igual al estándar.

JUSTIFICACIÓN

Es importante que en Guatemala se enfatice en la producción de nuevos productos elaborados a partir de hule ya que Guatemala es un país productor del mismo (*Hevea brasiliensis*). Actualmente se fabrican productos a partir de hule, tales como: suelas para zapatos, tacones, botas, sandalias, planchas de hule, esponja micro celular, alfombras, empaques, pelotas de hule, llantas para automóviles y guantes de látex. Existe otra gran variedad de productos que podrían ser fabricados en nuestro país ya que contamos con la materia prima y otros países que no producen látex si los fabrican y usan el guatemalteco. Esta tendencia se incrementa día con día. (ver apéndice 1).

Uno de estos productos que no han sido fabricados a gran escala en Guatemala son los globos de látex, pero para poder elaborarlos con calidad se deben entender los procesos químicos que llevan a elaborar un mejor producto; debido a esto es importante la capacitación de las personas encargadas de estos procesos.

El estudio del efecto de la variación de la concentración de los aceleradores, agentes vulcanizadores y catalizadores sobre el módulo de elasticidad de una película de látex son importantes debido a:

- i. Es la primera vez que se elabora una tesis sobre el efecto de la variación de las concentraciones de los compuestos vulcanizadores en el látex y su efecto sobre el módulo de elasticidad de una película de látex, en Guatemala.

- ii. Proporciona una guía de estudio a siguientes investigaciones sobre el tema de la vulcanización del látex.
- iii. Proporcionara a la nueva industria de globos de látex en Guatemala una manera de producir un globo de igual calidad al producido en otros países competidores.
- iv. Se ampliará el campo actual del conocimiento de la fabricación de productos producidos a partir de látex, por medio del método de inmersión en coagulante.
- v. Ayudará a futuros profesionales a tecnificarse en el procesamiento del látex.

OBJETIVOS

1. GENERAL

- 1.1 Lograr una calidad similar al globo mexicano sobre la base del módulo de elasticidad, para poder tener una mejor aceptación del globo guatemalteco en el mercado interno y externo.

2. ESPECÍFICOS

- 2.1 Determinar el módulo de elasticidad estándar.
- 2.2 Determinar cuál es el compuesto en la fórmula actual que produce cambios significativos en el módulo de elasticidad de la película de látex.
- 2.3 Hacer gráficas de esfuerzo versus deformación unitaria para cada fórmula y determinar sus módulos de elasticidad.
- 2.4 Estudiar posibles concentraciones de compuestos para obtener un módulo de elasticidad similar al estándar.
- 2.5 Determinar los parámetros fisico-químicos de densidad, porcentaje de sólidos totales, viscosidad, potencial de hidrogeno, estabilidad mecánica, prueba de cloroformo, prueba de hinchamiento o dilatación, para cada una de las fórmulas realizadas.
- 2.6 Establecer una metodología de análisis para el control de calidad de la materia prima y del producto terminado con respecto a su módulo de elasticidad.

HIPÓTESIS

Si se varía la concentración del acelerador, agente vulcanizador y donador de azufre dentro de los siguientes rangos:

- i. Acelerador de 0.000 a 1.200 phr**.
- ii. Agente vulcanizador de 0.000 a 0.300 phr.
- iii. Donador de azufre de 0.000 a 0.900 phr.

El módulo de elasticidad de la película de látex de la fórmula actual se acercara a un módulo de elasticidad similar a la película de látex estándar (marca PAYASO hecho en México por la empresa Látex Occidental S.A. de C.V.)

****phr = partes por cada 100 partes de hule seco (parts per hundred rubber)**

ANTECEDENTES

En la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos, no hay suficiente información que se refiera a la variación del módulo de elasticidad en una película de látex fabricada por el método de inmersión en coagulante debido a las variaciones de las concentraciones de los agentes vulcanizadores. A continuación se presenta una breve teoría de lo que es el látex, el proceso de inmersión en coagulante, el proceso de vulcanización, agentes vulcanizadores, aceleradores, catalizadores y teoría de que es la polimerización y elasticidad.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Látex natural

El caucho natural se obtiene de ciertas plantas que exudan una sustancia blanca, lechosa, cuando se hacen incisiones en la corteza. Producen este látex varias especies silvestres de *Hevea*, el *Manihot glaziovii*, la *Castilloa elastica*, *Ficus elastica*, especies del género *Landolphia* y otras plantas menos conocidas. Casi todos los tipos de látex usados actualmente provienen de la *Hevea brasiliensis*, planta originaria de la región del Amazonas (2).

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

El látex contiene 30 a 36% de hidrocarburo de caucho, 0.30-0.7% de cenizas, 1-2% de proteínas, 2% de resina y 0.5 de quebrachitol. 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 la composición del látex, así como el tipo de suelo y la línea o casta del árbol.

El látex es una secreción irreversible o producto de desecho del árbol, y cuanto más se extrae, tanto más la planta lo regenera. El caucho es producido en el protoplasma por reacciones bioquímicas de polimerización catalizadas por enzimas (3).

El látex fresco es transformado en caucho seco tan pronto como sea posible después de la recolección. Primeramente, se cuela por un tamiz de lámina perforada para eliminar partículas de hojas y corteza. Enseguida 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 se sedimenten. Entonces está dispuesto para la coagulación (3).

Hasta 1930, el látex de caucho natural, aparte de su empleo para fabricar el crepé y la lámina ahumada, tenía pocas y pequeñas aplicaciones industriales. El contenido de sólidos del látex fresco de árboles de mediana edad oscila entre 32 y 38%. En árboles jóvenes descende a veces hasta 20% y en árboles viejos y en los que no han sido sangrados en mucho tiempo, la cifra de sólidos se eleva hasta 45%. Aunque, aproximadamente, 90% de los sólidos son de hidrocarburo del caucho, se hallan también cenizas, proteínas, azúcares, tanino, alcaloides, sales minerales y algunos componentes de la corteza. Algunas de estas sustancias distintas del hidrocarburo son las que motivan la estabilización de las partículas coloidales del mismo en el agua. Otras afectan al color y otras cooperan a los de carácter físicos del caucho contenido en el látex (2).

Cuando fluye del árbol, el látex es casi neutro, pero la acción de enzimas y bacterias lo vuelve ácido y entonces el látex tiende a coagularse. Para evitar la coagulación y conservar el látex en estado coloidal estable, se le añaden bactericidas y conservadores lo antes posible después que ha sido obtenido del árbol. El preservativo más común es el amoníaco, en las plantaciones se suele colocar una pequeña cantidad de amoníaco acuoso en la vasija en que se recoge el látex fresco. El látex recogido se lleva a la estación, donde se le añade amoníaco en estado gaseoso (3).

El amoniaco es preferido a otros conservadores porque es bactericida y aumenta el pH del sistema haciéndolo así más estable, además de su acción bactericida y su alcalinidad, el amoniaco reacciona con los ácidos grasos del látex, y los jabones formados *in situ* son absorbidos por las partículas y estabilizan más el látex (2).

1.1.1. Látex normal

Se llama látex normal al látex fresco que ha sido estabilizado convenientemente y del cual se ha separado parte del lodo por sedimentación. Sufre también una ligera cremificación que aumenta el volumen de sólidos hasta una cosa de 40%. En el látex del caucho natural hay azúcares y glucósidos, que quizá obren como intermedios en la formación del caucho a partir de la celulosa y del almidón. Del látex y del suero se han extraído lipina y quebrachitol, éste en cantidades suficientes para tener valor económico. Por análisis se han encontrado las siguientes fracciones en el látex fresco (2).

TABLA I. COMPOSICIÓN DEL LÁTEX NORMAL

Componente	%
Sal de amonio de un ácido aldehídico o cetónico soluble en agua	0.03
Ester de un alcohol alifático superior y un ácido aldehídico o cetónico soluble en agua	0.06
Complejo químico de ácidos grasos saturados y no saturados con algunas sustancias terpénicas	0.33
Material plástico que se funde a menos de 100°C, soluble en éter	0.94
Complejo químico que contiene proteínas, fosfato, azúcares, quebrachitol y componentes inorgánicos	1.45
Hidrocarburo de caucho	27.17
Agua	69.78

1.1.2. Látex centrifugado

Por razones del costo de transporte y facilidad de aplicación, todo el látex usado en la industria está en forma concentrada. El más usado es el látex centrifugado, el cual se obtiene tratando el látex fresco con un agente estabilizador, como el amoníaco y después haciéndolo pasar por una máquina centrífuga. Variando la operación de centrifugación, la cantidad relativa de concentrado y de suero puede ajustarse a un nivel económico. Aproximadamente 80% del contenido total de sólidos del látex fresco queda en el concentrado y 20% en el suero o en la nata. Los componentes del látex centrifugado son (2):

TABLA II. COMPOSICION DEL LÁTEX CENTRIFUGADO

Componente	%
Sólidos totales	61.5
Caucho seco	60.0
Extracto acetónico del caucho	3.2
Materia soluble en agua	0.23
Nitrógeno	0.36
Cenizas	0.37

1.1.3. Látex cremificado

Otro método de concentración del látex de *Hevea* es la cremificación. El látex normalmente amoniado se cremifica mediante prolongado reposo, pero así no se concentra mucho en sólidos. Distintas sustancias caracterizadas por su peso molecular relativamente elevado, gran viscosidad y limitada solubilidad en agua se emplean para cremificar el látex, entre ellas la gelatina, metilcelulosa, carboximetilcelulosa, pectina, goma arábiga, goma karaya, ácido alginico y sales del ácido alginico. No obstante, los procedimientos industriales de cremificación se basan casi todos en el empleo de sales sódicas o amónicas de ácido alginico (2).

En las plantaciones se toma el látex como se obtiene del árbol, se le añade amoníaco y se le quita el lodo dejándolo en reposo varios días o por centrifugación. Se añade al látex el agente de cremificación en solución de 1.5-2.5%, o más alta, y se agita. Durante varios días se deja reposar la mezcla, sin agitarla, hasta que se separa en dos capas. El suero se saca por el fondo, el concentrado se agita de nuevo y después de cierto tiempo se realiza una nueva separación y se usa una segunda porción de suero (2).

La nata que deja el látex centrifugado se trata por alginato para obtener látex cremificado. Puesto que el contenido de caucho de aquella nata es relativamente elevado en comparación con el del suero que queda en el método de cremificación, se aprovecha una parte de él por este procedimiento. El suero se desecha o se coagula por degradación enzimática o por ácidos y se vende como caucho de baja calidad (2).

El látex cremificado del comercio tiene mayor concentración de sólidos que el centrifugado y mayor viscosidad. El látex cremificado, que normalmente contiene de 67 a 68% de sólidos secos, tiene un porcentaje menor de sustancias distintas del caucho que el látex centrifugado, que posee de 61.5 a 62.5% de sólidos. Esto ocurre porque gran parte de aquellas sustancias son solubles en agua y el látex centrifugado contiene una cantidad de suero sustancialmente mayor (2).

1.1.4. Otros látex concentrados

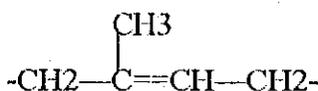
Cierta cantidad de látex natural se concentra por evaporación, y hay en el comercio una pequeña cantidad de látex de *Hevea* que ha sido concentrado por electrodecantación.
(2)

1.1.5. Estructura química del caucho

Las reacciones del caucho indican que la unidad estructural de su molécula es el grupo C_5H_8 , el cual es capaz de fijar por adición dos grupos monovalentes (2).

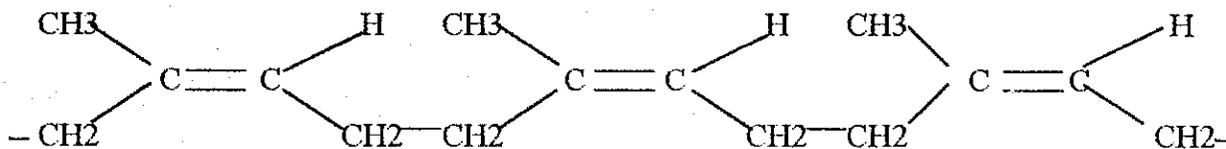
La estructura de dicha unidad es :

Figura No. 1 Isopreno (2-metilbutadieno)



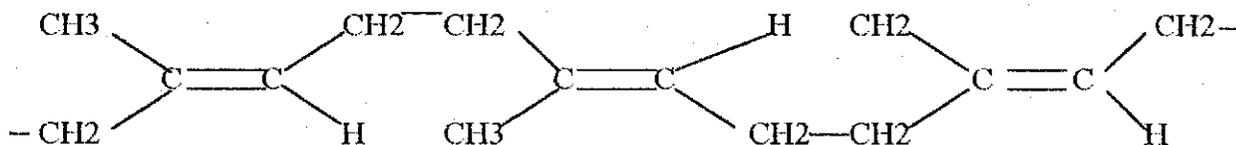
Los hidrocarburos purificados del caucho, de la balata y de la gutapercha, con las mismas propiedades químicas generales del caucho, tienen la misma fórmula empírica, $(C_5H_8)_x$. No obstante, mientras que la balata y la gutapercha son sustancias duras como el cuerno, el caucho es blando y flexible. El examen de las propiedades físicas de estas sustancias demuestra que las diferencias químicas entre el caucho, la gutapercha y la balata estriban en que estas sustancias son estereoisómeros; el caucho tiene la forma cis (4):

Figura No. 2 cis-1,4-Poliisopreno



mientras que la gutapercha y la balata tienen la forma trans:

Figura No.3 trans-1,4-Poliisopreno



1.2. Polimerización

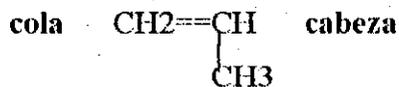
Los polímeros son moléculas gigantes, o macromoléculas. Los polímeros naturales incluyen proteínas (tales como la seda, las fibras de los músculos y las enzimas), polisacáridos(almidón y celulosa), hule o caucho y ácidos nucleicos. Los polímeros hechos por el hombre son tan variados como los polímeros naturales (5).

Los polímeros se pueden clasificar en tres grupos generales: *elastómeros*, aquellos polímeros que tienen propiedades elásticas, como el hule; *fibras*, polímeros para tejer, como el algodón, la seda o el nylon; y *plásticos* que pueden ser hojas delgadas (envolturas para cocina), sólidos duros y moldeables (tubería, juguetes para niños), o revestimientos (acabado de coches, barnices). La multiplicidad de propiedades depende de la variedad de estructuras posibles en los polímeros (5).

Muchos polímeros útiles se preparan a partir de alquenos, un polímero está hecho de miles de pequeñas unidades repetidas: los *monómeros*. En una reacción de polimerización, los primeros productos son los dímeros, después los trímeros, los tetrámeros y finalmente, después de una serie de pasos de reacción, los polímeros. Un polímero sintético generalmente se nombra con su monómero precedido de poli- (5).

Hay dos formas por las cuales los monómeros podrían unirse consigo mismo para formar un polímero: (1) cabeza-cola, o (2) cabeza-cabeza y cola cola.

Figura No.4 Propeno



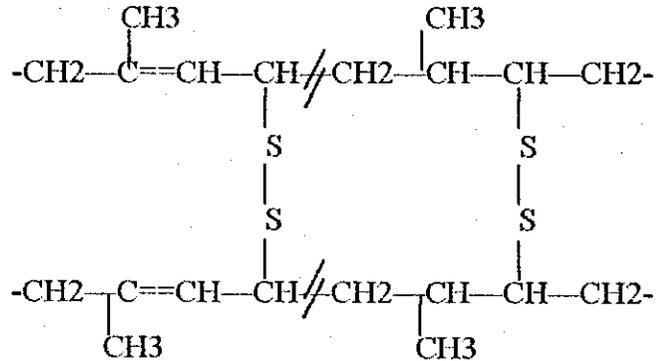
Para lograr las propiedades deseadas, puede usar una mezcla de dos, tres o aún más monómeros. Una mezcla de dos monómeros diferentes da como resultado un copolímero, tal como el Saran (usado en envolturas para cocina) (5).

El hule, látex, caucho o goma natural es cis-1,4-Poliisopreno, las unidades de isopreno están unidas cabeza con cola y todos los dobles enlaces son cis. El polímero trans es llamado gutapercha (5).

1.3. Vulcanización

El látex natural puro es blando y pegajoso. Para poder utilizarlo, tiene que "vulcanizarse". En el proceso de vulcanización, el látex natural se calienta con azufre, aceleradores, catalizadores, estabilizadores. Se lleva a cabo una reacción que produce enlaces transversales entre las cadenas de cis-poliisopreno haciendo que el hule se endurezca. El azufre reacciona tanto en los dobles enlaces como en los hidrógenos alílicos (6).

Figura No.5 Látex vulcanizado



El azufre es el agente vulcanizador casi universal del caucho. En general, las propiedades de envejecimiento del vulcanizado mejoran cuando la proporción de azufre decrece. Existen algunos compuestos orgánicos de azufre que cuando se calientan desprenden azufre; este azufre puede efectuar la vulcanización del caucho (2).

Cuando se usa azufre elemental como agente vulcanizador, hay que añadir ciertas materias auxiliares para obtener propiedades convenientes. Una de estas sustancias es el acelerador orgánico. La elección de un acelerador orgánico tiene importancia porque influye: 1) en la seguridad de fabricación del material; 2) en la velocidad de vulcanización; 3) en las propiedades físicas del vulcanizado (2).

Entre las propiedades físicas del vulcanizado que pueden ser influenciadas por el acelerador están el módulo de elasticidad o grado de rigidez, la resistencia final a la tracción, las propiedades de solidificación, arrastre y esfuerzo deformación, propiedades dinámicas, caracteres de envejecimiento, olor y color (2).

Los aceleradores más activos, especialmente los ditiocarbamatos, se usan mucho más en las composiciones de látex que en las de caucho seco por las siguientes razones: 1) no

existe el problema del asuramiento; 2) muchos objetos fabricados con composiciones de látex son de color claro y conviene mantener temperaturas de vulcanización bajas (104°C o menos) para evitar el oscurecimiento; 3) en muchos procesos es muy ventajoso, desde el punto de vista económico, reducir el tiempo y la temperatura de vulcanización cuanto sea posible. Los ditiocarbamatos son especialmente convenientes para la prevulcanización del látex en estado líquido (2).

Como en muchas composiciones de caucho seco, la adición de óxido de zinc acelera la vulcanización y mejora las propiedades físicas y de resistencia a la acción del tiempo, pero se ha de emplear con cuidado el óxido de zinc en el látex, pues con un pH relativamente bajo se forman iones de Zn^{+2} que reducen la estabilidad de la composición y con pH relativamente elevado se forman iones complejos de zinc que producen el mismo efecto. Por consiguiente, es necesario controlar el contenido de amoníaco y añadir estabilizadores, tales como álcalis fijos, caseína, jabones o agentes de actividad superficial, para prevenir el aumento de viscosidad y la coagulación ocasionadas por la presencia de óxido de zinc (2).

Las dispersiones que se añaden al látex deben ser estables por sí mismas, no segregarse excesivamente o sedimentarse durante cierto tiempo y ser compatibles con el látex. Como se ha indicado anteriormente, las partículas de látex están cargadas negativamente. Puesto que todas las cargas son del mismo signo, constituyen una fuerza estabilizadora que mantiene las partículas separadas por repulsión y evita la coalescencia y la coagulación. Los iones positivos polivalentes neutralizan estas cargas negativas y permiten la coagulación. Por consiguiente, las sustancias que producen los iones Zn^{+2} , Mg^{+2} o Ca^{+2} en el agua no deben ser permitidas en las composiciones de látex que requieren estabilidad en su empleo. El uso de ácidos grasos en las composiciones de látex se ajusta a los mismos principios que para el caucho seco, y aunque el látex de

caucho natural contiene algunos ácidos grasos o sus jabones, a veces es necesario añadir más, por regla general en forma de jabón (2).

Los ingredientes para una fórmula general de vulcanización de látex natural son:(7)

Látex

Estabilizador

Sistema de curado:

- 1. Agente vulcanizador (Azufre)**
- 2. Catalizador (óxido de zinc)**
- 3. Acelerador**
- 4. Antioxidante**

1.4. Método de inmersión en coagulante

Para producir objetos útiles con las composiciones de látex, es necesario convertir éstos en sólidos de la forma deseada. Para conseguirlo hay varios métodos, uno de estos es el método de inmersión por coagulante que consiste que la forma sobre la que ha de hacerse el objeto, o el metal que ha de ser recubierto, se coloca un coagulante químico por ejemplo sales de metal polivalente, se le seca y luego se le sumerge en la composición de látex durante el tiempo necesario para obtener el grueso deseado (2).

1.5. Elasticidad

Al estudio de las deformaciones de los cuerpos se le llama Elasticidad. El ejemplo más sencillo de un cuerpo que se deforma apreciablemente al aplicarle fuerzas lo constituye un resorte (8).

1.5.1. Deformación

Un cuerpo bajo la acción de cargas se deforma en mayor o menor grado. Consideremos primero un cuerpo de longitud L bajo la acción de dos fuerzas iguales y opuestas en sus extremos. Dos casos son posibles; si las fuerzas tratan de estirar el cuerpo se les llama fuerzas de tensión y se dice que el cuerpo está sometido a tensión y se estira o deforma un ΔL ; si las fuerzas tratan de comprimir el cuerpo se les llama fuerzas de compresión y se dice que el cuerpo está sometido a compresión y se encoge o deforma un ΔL . El estiramiento o encogimiento (ΔL) se llama deformación total (8).

La deformación unitaria (e) se define como:

$$e = (\Delta L / L_0) = (L_f - L_0) / L_0 \quad (1)$$

donde:

L_f = longitud final después del estiramiento

L_0 = longitud inicial antes del estiramiento

y donde la deformación del cuerpo es longitudinal.

1.5.2. Esfuerzo o fatiga

Cuando una fuerza se aplica sobre un cuerpo se puede observar que el cuerpo como un todo resiste la fuerza. A la fuerza por unidad de área se le llama esfuerzo o fatiga a la cual está sometido un cuerpo y, en general, el cuerpo al deformarse y resistir esta deformación se dice que está sometido a un esfuerzo (8).

El esfuerzo o fatiga se define entonces por:

$$S = F / A \quad (2)$$

donde:

F = es la fuerza aplicada al cuerpo

A = área de la sección transversal del cuerpo sometido a la fuerza

Los esfuerzos se clasifican de acuerdo al tipo de deformación que producen. Si las fuerzas se aplican perpendiculares a las superficies se llaman esfuerzos normales y pueden ser de tensión o compresión. Si las fuerzas se aplican tangencialmente a las superficies los esfuerzos son de corte (8).

Experimentalmente se puede obtener el comportamiento de materiales sometidos a esfuerzos; para ello se construye una gráfica de esfuerzo vs. deformación unitaria ya que este comportamiento depende únicamente del material en cuestión y no del cuerpo particular que se utiliza. Al elegir esfuerzo como variable se elimina el área como variable puesto que el esfuerzo es fuerza dividida entre área y al elegir deformación unitaria como la otra variable se elimina la longitud, cosa que no hubiera sucedido si se gráfica fuerza versus deformación total (8).

Al comportamiento que adquiere un material y que es una deformación remanente, y que puede desaparecer en algunos casos al cabo de un tiempo más o menos largo se le llama histéresis (8).

1.5.3. Módulo de elasticidad

Para los materiales elásticos y en la región de proporcionalidad donde se cumple la Ley de Hooke llamamos módulo de elasticidad a la constante de proporcionalidad entre los esfuerzos y las deformaciones unitarias. Esta constante es una característica del material, depende de qué tipo de esfuerzo se trate y es una medida de la rigidez del material. Se encuentra experimentalmente que para un material sometido a esfuerzos de tensión o compresión el módulo es el mismo y recibe el nombre de **Módulo de Young** y se define como (9).

$$Y = S / e \quad (3)$$

donde:

S = es el esfuerzo del material sometido a una fuerza

e = es la deformación unitaria del material

2. METODOLOGÍA

2.1. Localización

El experimento se realizó en el laboratorio de la empresa Tilly de Guatemala, S.A. con dirección 10 ave. 25-57 zona 13, Ciudad de Guatemala.

2.2. Metodología experimental (ver apéndice 2)

A) Determinación del módulo de elasticidad estándar

- Selección de la muestra a analizar
- Prueba de esfuerzo-deformación unitaria
- Determinación del módulo de elasticidad estándar

B) Análisis del látex natural, estabilizador 1, estabilizador 2, acelerador, agente vulcanizador, donador de azufre y catalizador

- Látex natural
 - Análisis de sólidos totales
 - Análisis de densidad y gravedad específica
 - Análisis de pH
 - Análisis de viscosidad
 - Estabilidad mecánica
 - Prueba de cloroformo
 - Hinchamiento en el equilibrio (Prueba de dilatación)
- Estabilizador 1, estabilizador 2, acelerador, agente vulcanizador donador de azufre y catalizador
 - Análisis de sólidos totales

- Análisis de densidad y gravedad específica
- Análisis de pH
- Análisis de viscosidad

C) Determinación de los módulos de elasticidad

- Determinación de las fórmulas a utilizar
- Vulcanización
- Análisis final del vulcanizado
 - Análisis de sólidos totales
 - Análisis de densidad y gravedad específica
 - Análisis de pH
 - Análisis de viscosidad
 - Estabilidad mecánica
 - Prueba de cloroformo
 - Hinchamiento en el equilibrio (Prueba de dilatación)
- Formulación del coagulante
- Análisis del coagulante
 - Análisis de sólidos totales
 - Análisis de densidad y gravedad específica
 - Análisis de pH
 - Análisis de viscosidad
 - Conteo de polvo
 - Análisis de sólidos suspendidos y sólidos disueltos
- Procedimiento para hacer muestra de película de látex
- Prueba de esfuerzo-deformación unitaria
- Determinación de los módulos de elasticidad de las fórmulas

D) Calculo estadístico

E) Procedimiento para determinar el módulo de elasticidad que mejor se acerque al estándar

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el estudio del módulo de elasticidad de una película de látex natural centrifugado (*Hevea brasiliensis*), al variar las concentraciones de los agentes vulcanizadores y el ser fabricada por el método de inmersión en coagulante, pueden observarse en las tablas y gráficas que se presentan en el apéndice 3 y 4.

Observando y analizando todas las gráficas obtenidas (Apéndice 4) se puede decir que el comportamiento de la película de hule puede dividirse en dos tramos un primer tramo el cual representa el comportamiento elástico, y un segundo tramo que representa el comportamiento plástico. En la tabla XXVII se muestran los modelos lineales para cada fórmula, donde se observa que para cada gráfica existen dos modelos lineales que representan el tramo elástico y plástico respectivamente. Así también se muestran las pendientes (B1), la ordenada al origen (B0) y el punto de intersección para ambas rectas.

El punto de intersección es importante debido a que indica en que dirección cambia la gráfica esfuerzo-deformación unitaria de fórmula a fórmula. Además, este punto indica en que momento la película de hule puede dejar de ser elástica para convertirse en plástica esto quiere decir que si el hule se lleva hasta el punto no habrá una deformación permanente, pero si se lleva después de este punto sí habrá una deformación permanente. Este punto recibe el nombre de punto del límite de elasticidad.

Si se observan todas las gráficas todas ellas poseen una primera pendiente que es el módulo de elasticidad que es el módulo de interés, pero además posee una segunda pendiente (módulo plástico) diferente a la primera y para cada fórmula es diferente por

lo que al variar las concentraciones de los agentes vulcanizadores estas pendientes varían.

En la segunda parte de la gráfica debe de existir un punto al cual se le llama punto de ruptura que es el punto donde el material se rompe, este punto no llegó a determinarse debido a que la película de hule no sufrió ruptura con los esfuerzos aplicados en ninguna de las películas de hule.

Para la fórmula No.1 que es la película de látex occidental se determinó que el módulo de elasticidad es de 1.6219×10^5 N/m² (Tabla XXVII) este módulo es el que se utiliza como comparación con el resto de módulos de las demás fórmulas.

Para la fórmula No.4 que es el látex no vulcanizado se obtuvo una pendiente de 0.1696×10^5 N/m² que al comparar este resultado con la pendiente de la fórmula No.1 indica que es sumamente bajo: es 9.5 veces inferior. Esta película al ser puesta a prueba por medio de esfuerzos da como resultado una película sumamente elástica pero con poca resistencia a los esfuerzos, probablemente el hecho de que no posee ningún tipo de agente químico que ayude a unir las moléculas de hule provoca este comportamiento ver gráfica No.4 parte a y b. Con respecto a esta fórmula y observando su gráfica no se observa un comportamiento en el cual se pueda dividir la gráfica en dos tramos uno elástico y otro plástico en la gráfica No.4 parte a. Un análisis más minucioso sugiere un tramo elástico pequeño y un tramo plástico pequeño ver gráfica No. 4 parte b.

Ahora tomando la fórmula base o fórmula No.3 se observa que ésta tiene un módulo de elasticidad de 1.5328×10^5 N/m² el cual se acerca mucho al módulo de elasticidad de la película de látex occidental pero en la segunda parte de la gráfica se observa que la fórmula de látex occidental posee un módulo más grande 33.7193×10^5 N/m² versus

$25.0301 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ de la fórmula base pero aun así es una buena aproximación de la fórmula No.3 con la No.1.

En los puntos límites de elasticidad se nota también cierta diferencia ya que la fórmula No.3 no regresará a su forma a partir de aplicarle un esfuerzo de $10.6873 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ mientras que el de la fórmula No.1 soporta hasta $12.07067 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

Examinando las demás gráficas obtenidas se puede dividir este análisis en tres secciones las cuales son variación de la concentración del acelerador, variación de la concentración del agente vulcanizador y variación de la concentración del donador de azufre.

3.1. Variación de la concentración del acelerador

Al variar la concentración del acelerador de 0 % a 315 % sucedió lo siguiente:

- i. El módulo de elasticidad comenzó a aumentar de $1.2096 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ al 0 % a $1.4676 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ al 315 %. Al comparar estos resultados con el módulo estándar que es de $1.6219 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ se observa que el aumento del acelerador no tiene el efecto deseado en la película de hule ya que estos módulos son inferiores.
- ii. Con respecto al punto límite de elasticidad se observa en la tabla XXVII que en el caso del 0 % de acelerador la deformación unitaria es parecida 5.8268 pero el esfuerzo es mucho menor $9.3429 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ en comparación a los $12.0767 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. En el segundo caso en que el acelerador es 158 % la deformación unitaria disminuye a 5.2524 y el

acelerador es 158 % la deformación unitaria disminuye a 5.2524 y el esfuerzo aumenta a 9.4149×10^5 N/m² lo que significa que es menos elástica que con 0 % de acelerador pero resiste un mayor esfuerzo. Y en el caso en que aumenta a 315 % el acelerador, aumenta un poco la deformación unitaria a 5.5966 y aumenta la resistencia a 10.0602×10^5 N/m² lo que significa que es un poco más elástica que la de 158 % de acelerador y más resistente y con respecto a la de 0 % de acelerador menos elástica pero más resistente.

- iii. En cuanto al segundo tramo de la gráfica se nota un aumento en el módulo plástico al ir aumentando la concentración de 0 % a 315 % pero tampoco alcanzó los 33.7193×10^5 N/m² que tiene el estándar ya que solo alcanzó los 24.9160×10^5 N/m².
- iv. Con respecto a las pruebas de grado de vulcanización (Tabla XXV) se puede observar que la prueba de dilatación da como resultado que las dos primeras fórmulas, la número 5 y 6 están ligeramente vulcanizadas, mientras la tercera la 7 está moderadamente vulcanizada. Mientras que la prueba de cloroformo indica que la número 5 no está vulcanizada, la 6 y la 7 indican que ya están en un estado avanzado de vulcanización.
- v. En cuanto al tiempo de vulcanización (Tabla XXV) se observa que este disminuye al ir agregando acelerador. Al aumentar la concentración del acelerador el tiempo se reduce notablemente de 12 horas con 0 % de acelerador a 2.25 horas con 315 % de acelerador, pasando por 8 horas con 158 % de acelerador.

En general, el acelerador no aumenta el módulo de elasticidad en la cantidad deseada pero si lo aumenta, además el módulo plástico tampoco aumenta hasta el valor de la fórmula No. 1 lo cual afecta el punto límite de elasticidad ya que todos estos al ser comparados con la fórmula No. 1 no tienen la misma elasticidad y la misma resistencia al esfuerzo ya que son menores en elasticidad y menores en resistencia. En cuanto al grado de vulcanización se observa que si aumenta al ir agregando acelerador y disminuye el tiempo de vulcanización.

3.2. Variación de la concentración del agente vulcanizador

Al variar la concentración del agente vulcanizador de 0 % a 315 % se observa lo siguiente:

- i. El módulo de elasticidad comenzó a aumentar de $1.4709 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ al 0 % a $1.9169 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ al 315 %. Si se comparan estos resultados con el módulo de elasticidad estándar que es de $1.6219 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ se observa que el aumento de agente vulcanizador si provoca el aumento deseado en el módulo de elasticidad. En la fórmula No.9 el módulo de elasticidad es de $1.6457 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ por lo que es muy parecido al estándar.
- ii. El punto límite de elasticidad en el caso del 0 % de agente vulcanizador, la deformación unitaria es de 5.1439 y con un esfuerzo de $9.4408 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ lo cual indica que es menos elástica y menos resistente que la fórmula No. 1.

En el segundo caso en el que se aumento a 158 % la concentración de agente vulcanizador la deformación unitaria aumento a 5.5413 y el

esfuerzo a $11.1873 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ lo que indica que aumento su elasticidad y aumento su resistencia al esfuerzo, pero no tiene la misma elasticidad y resistencia que la fórmula No.1.

En el tercer caso en el que se aumentó a 315 % la concentración de agente vulcanizador el punto límite de elasticidad cambio de una forma no esperada ya que al analizar los puntos límites de las formulas 8 y 9 estos parecieran que aumentan tanto en deformación unitaria como en esfuerzo. Pero al analizar el punto límite de elasticidad de la fórmula No. 10 se observa disminución en la deformación unitaria (5.1284) y aumento en el esfuerzo ($11.8316 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) lo que significa que es menos elástico que las fórmulas 8, 9 y 1, pero más resistente al esfuerzo que las fórmulas 8 y 9.

- iii. En cuanto al segundo tramo de la gráfica se observa un aumento en el módulo plástico al ir aumentando la concentración de 0 % a 158 % de agente vulcanizador de $17.7656 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ a $24.4619 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ pero estos valores son inferiores a $33.7193 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ de la fórmula No.1. En el caso de la fórmula No. 10 el módulo bajó a $19.4785 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ lo cual indica que disminuyó al aumentar la concentración de 158 % a 315 %.
- iv. Analizando las pruebas de grado de vulcanización (Tabla XXV) se observa que la prueba de dilatación da como resultado que la fórmula No. 8 con 0 % de agente vulcanizador está ligeramente vulcanizado, mientras que la 9 y 10 están moderadamente vulcanizadas. Mientras que la prueba de cloroformo indica que la 8 no está vulcanizada, la 9 y 10 ya están en un estado avanzado de vulcanización.

- v. El tiempo de vulcanización disminuye al aumentar la concentración de agente vulcanizador. Entre la fórmula No. 8 y la No. 9 el tiempo es el mismo pero el grado de vulcanización es diferente. En el caso de la fórmula No. 10 el tiempo disminuye y el grado de vulcanización aumenta.

En general, el agente vulcanizador sí aumenta el módulo de elasticidad hasta el valor que se desea y aun lo sobrepasa al seguir aumentando la concentración, pero los puntos límites de elasticidad de las fórmulas indican que aunque tengan un módulo de elasticidad parecido es menos elástico y con menor resistencia al esfuerzo que la fórmula No. 1. Esto es afectado debido al módulo plástico o pendiente del segundo segmento ya que son pendientes inferiores a los $33.7193 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ que posee la fórmula No. 1. En cuanto al tiempo de vulcanización y su grado de vulcanización sí hay una disminución al ir aumentando la concentración y un aumento del grado de vulcanización pero se observa que de alguna forma este aumento comienza a afectar la elasticidad pero no así la resistencia del material a mayores esfuerzos cuando sobrepasa los 158 % de concentración.

3.3. Variación de la concentración del donador de azufre

Al variar la concentración del donador de azufre de 0 % a 315 % se observa lo siguiente:

- i. El módulo de elasticidad comenzó a aumentar de $1.2226 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ al 0 % a $1.7976 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ al 315 % si se comparan estos resultados con el módulo de elasticidad estándar que es de $1.6219 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Se observa que el aumento de donador de azufre sí provoca un aumento en el módulo de elasticidad. Analizando la fórmula No. 12 que tiene 158 % de donador

de azufre se observa que el módulo de elasticidad es de $1.6365 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ que es parecido al módulo de la fórmula No. 1.

- ii. El punto límite de elasticidad en la fórmula No. 11 indica que al no agregarle donador de azufre la deformación unitaria aumenta a 5.9517 y el esfuerzo disminuye a $9.2010 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ lo cual indica que es más elástica y posee menos resistencia al esfuerzo que la fórmula No. 1.
- iii. En el segundo caso en el que hay 158 % de donador de azufre se reduce el punto límite de elasticidad a 5.3260 en la deformación unitaria y aumenta la resistencia al esfuerzo a $10.9307 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ en comparación a la fórmula del 0 % de donador de azufre, pero al compararla con la fórmula No. 1 la deformación unitaria es menor y la resistencia al esfuerzo también es menor, lo que indica que es menos elástica y menos resistente al esfuerzo.
- iv. En la fórmula No. 13 donde la concentración del donador de azufre es de 315 % y compararla con los puntos límites de las fórmulas No. 11 y No. 12 éste es menos elástico ya que se reduce la deformación unitaria a 5.2331 y además es más resistente al esfuerzo ya que el esfuerzo es de $11.6824 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, pero al comparar esta fórmula con la No.1 ésta es menos elástica y menos resistente al esfuerzo.
- v. Analizando el segundo segmento o tramo de la gráfica se observa un aumento del módulo plástico al ir aumentando la concentración de 0 % a 158 % y luego a 315 % de donador de azufre. Estos valores son de $21.0476 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, $26.0268 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ y $27.3154 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

respectivamente, pero ninguno de estos valores es similar al de la fórmula No. 1 todos son inferiores.

- vi. En las pruebas de grado de vulcanización se observa que la prueba de dilatación da como resultado que las fórmulas No. 11 y No. 12 están ligeramente vulcanizadas y la No. 13 está moderadamente vulcanizada. La prueba del cloroformo indica que la fórmula No. 11 no está vulcanizada y la No. 12 y No. 13 están en un estado avanzado de vulcanización. Además, se observa que al ir aumentando la concentración de donador de azufre el tiempo de vulcanización disminuye ya que la fórmula No. 11 tiene un tiempo de vulcanización de 12 horas, mientras la No. 12 tiene de 8 horas y la No. 13 tiene 4 horas.

En general, para el donador de azufre sí aumenta el módulo de elasticidad hasta un el valor que se desea y aun lo sobrepasa al seguir aumentando la concentración, pero los puntos límites de elasticidad indican que aunque tengan módulos de elasticidad parecidos como es el de la fórmula No. 12 y No.1 no poseen las mismas características de elasticidad y resistencia al esfuerzo. Este punto límite es afectado por el segundo segmento (módulo plástico) de la gráfica ya que para la fórmula No. 1 posee un módulo plástico de $33.7193 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ lo cual indica que es una pendiente más grande que las que tienen las fórmulas hechas con el donador de azufre. Como en el caso del agente vulcanizador el aumento de la concentración del donador de azufre hace que disminuya el tiempo de vulcanización. Este aumento de la concentración de donador de azufre disminuye la elasticidad y aumenta la resistencia al esfuerzo, aumentando los módulos de elasticidad y plástico, por ultimo disminuye el tiempo de vulcanización.

Si observamos todas las fórmulas en conjunto se puede analizar lo siguiente primero el aumento del acelerador, el agente vulcanizador, el donador de azufre sí aumentan el módulo de elasticidad hasta un valor igual o superior al deseado, con excepción del

acelerador ya que no se obtuvo el número deseado. La aproximación más cercana a la fórmula No. 1 es la de la No. 9 con 1.6457×10^5 N/m² y la No. 12 con 1.6365×10^5 N/m², las que contienen 158 % de agente vulcanizador y 158 % de donador de azufre respectivamente.

Pero en cuanto al módulo plástico éste no aumenta hasta el valor deseado. El máximo valor fue de 27.3154×10^5 N/m² en la fórmula No. 13 que contiene 315 % de donador de azufre y el de la No. 1 es de 33.7193×10^5 N/m².

En cuanto al punto límite de elasticidad de todas las fórmulas se observa que no hay ninguna fórmula que sea mayor o igual al punto límite de elasticidad de la fórmula No. 1. Si se observa en la fórmula No. 5 una aproximación en cuanto a la deformación unitaria (5.8268) pero su esfuerzo es muy bajo 9.3429×10^5 N/m². En cuanto a la resistencia al esfuerzo la fórmula con mayor aproximación es la No. 10 con un esfuerzo de 11.8316×10^5 N/m² pero su deformación unitaria es menor a la fórmula No. 1 (5.8768).

En cuanto al tiempo y el grado de vulcanización se observa que al aumentar las concentraciones de acelerador, agente vulcanizador y donador de azufre el tiempo de vulcanización disminuye y el grado de vulcanización aumenta. Las fórmulas con menor tiempo de vulcanización son la fórmula No. 7 con 315 % de acelerador con un tiempo de 2.25 horas, y la fórmula No. 10 con 315 % de agente vulcanizador y un tiempo de 2.75 horas. La fórmula con un grado de vulcanización mayor fue la No. 10 con 1.8700 en la prueba de dilatación, y la de menor grado fue la que no contiene ningún agente químico vulcanizante (fórmula No. 4) con 2.9500 en la prueba de dilatación.

Además, se realizó una prueba con una película de hule que pertenece a un globo fabricado por la marca Qualatex (fórmula No.2) solo como otro medio de comparación

con las demás fórmulas y se obtuvo lo siguiente primero en cuanto al módulo de elasticidad este es mayor ($2.2150 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) a cualquier fórmula realizada y superior al módulo de elasticidad de la formula No.1, así también posee un módulo plástico mayor ($38.8885 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) a cualquier fórmula incluida la fórmula No. 1. Respecto a su punto límite de elasticidad ($5.3091, 14.4524 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) se observa lo siguiente: posee una elasticidad menor a la fórmula No.1 y una resistencia mayor al esfuerzo. Esta fórmula es de mayor resistencia que cualquier otra.

CONCLUSIONES

1. El módulo de elasticidad estándar es de $1.6219 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.
2. El módulo de elasticidad de la película de látex sí puede ser mejorado y llevado a un módulo de elasticidad similar a la película de látex estándar utilizando variaciones de concentraciones de agente vulcanizador y donador de azufre en el proceso de vulcanización.
3. Un módulo de elasticidad similar al de elasticidad estándar es el de la fórmula número 9 ($1.6457 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) y la 12 ($1.6365 \times 10^5 \text{ N/m}^2$).
4. Los compuestos que producen un mayor aumento en el módulo de elasticidad en las películas de látex son el agente vulcanizador y el donador de azufre, al ir aumentando sus concentraciones.
5. Los compuestos que disminuyen el tiempo de vulcanización del látex son el acelerador y el agente vulcanizador al ir aumentando sus concentraciones.
6. Un látex sin vulcanizar produce una película de hule altamente elástica y con poca resistencia al esfuerzo (ver gráfica No.4).
7. Ninguna de las fórmulas realizadas posee un punto límite de elasticidad igual o parecido al estándar ($5.8933, 12.0767 \times 10^5 \text{ N/m}^2$).

8. En ninguna fórmula se obtuvo un módulo plástico igual o similar al módulo plástico del estándar.
9. El grado de vulcanización mayor lo obtuvo la fórmula 10 con 1.8700 en la prueba de dilatación donde se uso concentraciones altas de agente vulcanizador (315 %).
10. Si se aumenta solamente la concentración del acelerador disminuye la elasticidad y aumenta la resistencia al esfuerzo.
11. Si se aumenta la concentración del agente vulcanizador disminuye la elasticidad y aumenta la resistencia al esfuerzo.
12. Si se aumenta la concentración del donador de azufre disminuye la elasticidad y aumenta la resistencia al esfuerzo.
13. El módulo plástico aumenta al aumentar solamente la concentración del acelerador y solamente la concentración del donador de azufre.
14. El módulo plástico aumenta al aumentar la concentración de agente vulcanizador hasta 158 % y disminuye a 315 %.

RECOMENDACIONES

1. En este estudio se realizaron pruebas de grado de vulcanización cada hora para determinar cuándo se debe enfriar el látex. La prueba realizada fue la de cloroformo, ésta es una prueba subjetiva, por lo tanto si se quiere hacer un estudio más detallado sobre la reacción química de vulcanización se deben obtener muestras cada cierto tiempo y analizar el grado de vulcanización por medio de la prueba de dilatación. También deben hacerse películas de látex para determinar su módulo de elasticidad cada cierto tiempo y poder así construir una gráfica que muestre como el módulo cambia conforme transcurre el tiempo de vulcanización. Y determinar si existe algún máximo en el módulo de elasticidad.
2. En el estudio al ir aumentando las concentraciones de los agentes químicos vulcanizadores se aumenta el costo del producto terminado por lo que probablemente sea necesario determinar qué concentraciones son las más adecuadas y más económicas para el proceso de vulcanización. También debe tomarse en cuenta que si las concentraciones que se van a usar disminuyen el tiempo de vulcanización provocaran un ahorro de energía. Se debe considerar que por una parte se aumente el costo y por otra que baja por lo que debe encontrarse un equilibrio.
3. Al aumentar las concentraciones de acelerador y agente vulcanizador disminuye el tiempo de vulcanización esto tiene en efecto positivo en cuanto al tiempo y consumo de energía en el proceso pero se debe de estudiar que efecto puede tener esto sobre el producto terminado a largo plazo (Resistencia al medio ambiente).

4. En las pruebas de vulcanización se usan compuestos que no son los únicos que se pueden usar como acelerador y agente vulcanizador, se puede estudiar otros compuestos químicos para así determinar si estos afectan de otra forma la película de hule.
5. Al finalizar la fabricación del producto éste puede ser tratado con otro procedimiento químico. Este procedimiento es utilizado en la fabricación de guantes y puede estudiarse para determinar si ofrece mejor resistencia al esfuerzo, mejor textura y mayor resistencia al ambiente: A este proceso se le denomina halogenación de alquenos. Por lo que sería importante estudiar este proceso y la forma como afecta la elasticidad y la resistencia al esfuerzo en la película de hule ya terminada.
6. Es necesario también explorar otras temperaturas de vulcanización más bajas, ya que con esto se podría ahorrar energía. Se deben explorar otros compuestos químicos que sean reactivos a bajas temperaturas.
7. Debido a la acción degradadora que ejerce el ambiente (ozono, rayos ultravioleta etc.) sobre los dobles enlaces del hule es necesario agregar otros productos químicos adicionales al látex como lo son los antioxidantes y las ceras que ayudan a protegerla, por lo que es necesario seguir investigando cuáles de estos productos son los que se pueden aplicar de una forma efectiva sobre el látex.
8. Existen, actualmente, varios tipos de látex sintéticos que pueden utilizarse agregándolos y mezclándolos al látex natural los cuales pueden cambiar las propiedades físico-químicas del látex natural por lo que sería importante estudiar cómo cambian estas propiedades y cómo afectan al producto terminado en su resistencia y elasticidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Roberta A. Storer, "Rubber, natural and synthetic general test methods; carbon black", **Annual book of ASTM standards (09.01): 298-307. 1993.**
2. Raymond Kirk & Donald Othemer, "Caucho", **Enciclopedia de tecnología química, (3): 886-899, 1018-1020. 1962.**
3. Werber Hofmann. Technology Handbook (Alemania: Hanser Publishers, 1989) pp. 1-31, 221-321.
4. Stephen Weininger. Química orgánica (México: Nueva editorial Interamericana, S.A. de C.V., 1975) pp. 270-271.
5. Ralph Fessenden & Joan Fessenden. Química orgánica (Segunda edición. México: Grupo editorial Iberoamerica, 1988) pp. 435-441.
6. T.W. Graham Solomons. Química orgánica (Tercera edición. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V., 1985) pp. 430-431.
7. H. Berkheimer. The Vanderbilt Latex Handbook (Tercera edición. Estados Unidos de América: R.T. Vanderbilt Company Inc., 1987) pp. 95-115.
8. Jorge Antillón Matta & Carlos Cajas Vidaurre. Física (Segunda edición. Volumen (2). Guatemala: Editorial universitaria, 1988) pp. 145-158.
9. Ferdinand Singer & Andrew Pytel. Resistencia de materiales (Tercera edición. México: Harla S.A. de C.V., 1982) pp. 27-31.
10. A.D.T. Gorton & T.D. Pendle, "A new rapid measurement of crosslink density in compounded natural latices" Natural rubber technology. Volumen (7): 77. 1976
11. Douglas C. Montgomery & George Runger. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería (México: McGraw-Hill Interamericana editores, S.A. de C.V., 1996) pp. 471-530.

APÉNDICE

1. DATOS ESTADÍSTICOS

**Tabla III. Producción de hule natural en Guatemala durante 1993 a 1996
(en kilogramos)**

Años	Látex
1993	11,641,342
1994	10,169,714
1995	13,339,862
1996	16,830,953

Tabla IV. Venta de hule natural durante 1993 a 1996
(en kilogramos)

<u>Comprador</u>	<u>1993</u>	<u>1994</u>	<u>1995</u>	<u>1996</u>
Norte América				
México	5,081,795	6,700,874	6,989,781	8,873,220
U.S.A	2,075,095	2,921,387	3,856,604	4,517,019
Centro América				
Costa Rica	22,813	29,115	10,041	5,975
El Salvador	40,566	40,830	31,933	39,545
Honduras	8,889	3,840	0	6,363
Nicaragua	5,554	3,424	642	640
Panamá	0	30,024	0	0
Sur América				
Colombia	1,951,448	1,697,360	1,726,082	2,266,994
Perú	0	0	14,700	0
Chile	0	0	20,312	42,694
Venezuela	91,140	14,700	24,856	68,385
Locales				
Cía. Hulera de Exportación	622,307	496,845	612,038	488,547
Distribuidora Petapa	88,446	92,086	0	0
Tejidos Politex	0	0	20,500	0
Industrias Italtex	0	0	0	22,050
Tilly de Guatemala, S.A.	0	0	22,777	162,944
Guatemala varios	37,991	37,377	26,915	8,130
Total (Kg)	10,026,044	12,067,862	13,357,181	16,502,506

NOTA: todos los datos que se muestran en las tablas III y IV fueron proporcionados por el jefe administrativo de la Gremial de Huleros de Guatemala: Víctor Hugo Sandoval.

2. PROCEDIMIENTOS

2.1. Determinación del módulo de elasticidad estándar

2.1.1. Selección de la muestra a analizar

La muestra a analizar debe obtenerse en el comercio la cual consiste en globos de látex fabricados por una misma empresa mexicana, en este caso la marca de globos es PAYASO.

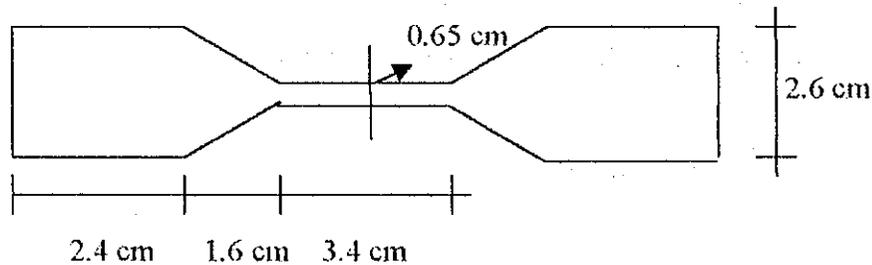
Estos globos de látex deben ser de un color ámbar transparente o casi sin color; desinflados e inflados. Deben tener 40.64 cm (16 pulg) de diámetro. Además deben poseer la característica de que al inflarse hasta su diámetro recomendado por el fabricante puedan recuperar casi de nuevo en su totalidad su tamaño inicial desinflados.

2.1.2. Prueba de esfuerzo-deformación unitaria

Equipo y materiales

- 3 globos de látex sin color de 40.64 cm (16 pulg) de diámetro inflados.
- 1 plancha de polipropileno de 30.5 x 30.5 x 2.54 cm.
- 1 martillo de cuero (martillo ingles) de 2.04Kg (4.5 lb).
- 1 sacabocados de hierro de las siguientes dimensiones

Figura No. 6 Dimensiones de sacabocado

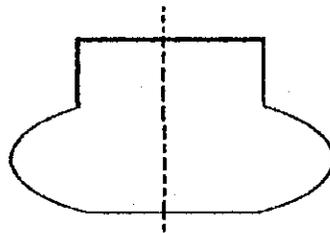


- 1 micrómetro de 0.00254 a 1.27 cm (0.001 a 0.5 pulg).
- 19 pesos metálicos separados de 8.16 g (0.018 lb) de masa cada uno.
- 18 pesos metálicos de 19.05 g (0.042 lb) de masa cada uno.
- 1 peso metálico de 13.1544 g (0.029 lb) de masa.
- 1 canasta de cartón con mordaza con una masa de 19.0512 g (0.042 lb).
- 8 pesos metálicos de 34.9272 g (0.077 lb) de masa cada uno.
- 3 pesos metálicos de 104.7816 g (0.231 lb) de masa cada uno.
- 4 pesos metálicos de 112.9464 g (0.249 lb) de masa cada uno.
- 3 pesos metálicos de 114.7608 g (0.253 lb) de masa cada uno.
- 1 peso metálico de 67.5864 g (0.149 lb) de masa.
- 1 canasta de bambú con mordaza con una masa de 74.8440 g (0.165 lb).
- 1 cinta métrica metálica graduada de 0 a 50 cm.
- 2 mordazas.
- 1 base de madera.
- 4 cadenas de metal de 15 cm de largo.
- 1 tijeras.
- 1 Vernier de 0 a 15.24 cm +/- 0.0254 cm (0 a 6 pulg +/- 0.01 pulg).

Procedimiento

1. Se cortan con tijeras, los tres globos, del extremo inferior y luego se hace un corte longitudinal desde el anillo hasta abajo a manera que los globos queden de la siguiente forma:

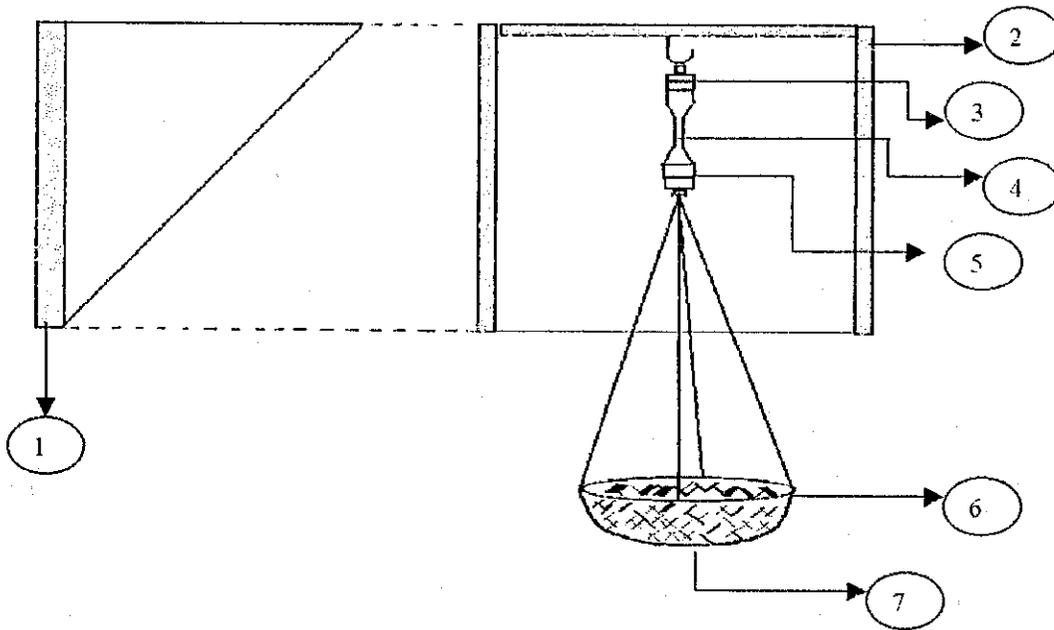
Figura No.7 Forma de corte



2. Se coloca la muestra en la plancha de polipropileno.
3. Se coloca el sacabocados sobre la muestra y con el martillo dar un golpe fuerte.
4. Se obtiene la muestra de los tres globos.
5. Se numera cada una de las muestras.
6. Se obtiene el espesor con el micrómetro de cada una de las bandas delgadas de las muestras (parte central) de cada globo, en tres puntos, se saca el promedio y se apuntan los datos.
7. Se obtiene la anchura con el Vernier de cada una de las bandas delgadas de las muestras (parte central) de cada globo, en tres puntos, se saca el promedio y se apuntan los datos.

8. Se hacen dos marcas en la muestra separadas cada una por 3 cm en la parte central de la muestra.
9. Se tara la canasta, las cadenas y la mordaza, y se apunta el peso = m*g.
10. Se arma el siguiente aparato según lo muestra la figura No. 8

Figura No.8 Aparato para medir esfuerzos



1. Pared
2. Base
3. Mordaza
4. Muestra
5. Mordaza
6. Cadena
7. Canasta

11. Se mide la longitud final del estiramiento después de 60 seg de marca a marca y esta será la primera medición (apuntar en una tabla) para el peso = $m \cdot g$ de la canasta.
12. Para las subsiguientes mediciones se debe ir colocando las masas (Peso aplicado = $W = m \cdot g$) de una en una, esperar 60 seg y medir sus respectivas longitudes finales de estiramiento hasta un peso casi de ruptura (apuntar en una tabla).

2.1.3. Determinación del módulo de elasticidad estándar

1. Con las medidas siguientes:

Ancho de la muestra: a en m.

Espesor de la muestra: E en m.

Peso aplicado: $W = m \cdot g$ en Newton (N) donde m es la masa de cada peso en Kg y g es la constante de la gravedad 9.81 m/seg^2 .

Se encuentra la tensión o esfuerzo con la siguiente fórmula:

$$S = (W / a \cdot E) \quad (4)$$

donde S es el esfuerzo y esta dado en Newton por metro cuadrado.

2. Se encuentran las deformaciones unitarias con la siguiente fórmula:

$$e = (L_f - L_o) / L_o \quad (5)$$

donde:

e es la deformación unitaria y es adimensional.

L_f es la longitud final después del estiramiento en cm.

L_o es la longitud inicial antes del estiramiento en cm.

3. Después de obtenerse los datos de esfuerzo y deformación unitaria para las tres muestras se debe obtener un promedio entre los tres primeros datos, entre los tres segundos datos y así sucesivamente y construir una tabla con estos datos.

4. Se hace una gráfica de esfuerzo vs. deformación unitaria, utilizando el esfuerzo en el eje Y y la deformación unitaria en el eje X y utilizando un programa Excel.
5. Luego se utiliza el método de mínimos cuadrados para las dos rectas y entre varios puntos hasta encontrar la mejor correlación (r) entre los datos (en este caso se utilizó una calculadora que contenía el programa de mínimos cuadrados siendo esta una Casio FX-880P). Se determina las ecuaciones de las dos rectas así como las pendientes de estas las cuales serán el módulo de elasticidad.

$$y = B1*x + B0 \quad (6)$$

Donde B1 es la pendiente y B0 la ordenada al origen.

6. Por medio de cálculos estadísticos se encuentra el error estándar estimado de la pendiente, el error estándar de la ordenada al origen, el intervalo de confianza para la pendiente B1 del 95%, el intervalo de confianza para la ordenada al origen B0 del 95%(ver procedimiento 2.4.).

2.2. Análisis del látex natural, estabilizador 1, estabilizador 2, acelerador, agente vulcanizador, donador de azufre y catalizador

2.2.1. Látex natural

2.2.1.1. Análisis de sólidos totales

Equipo y materiales

- 1 balanza analítica marca OHAUS GA110 (+/- 0.00001 g).
- 1 beaker de 100 ml de Pyrex.
- 1 microondas marca Welbilt modelo No. MR 622W.

Procedimiento

1. Se saca una muestra de 800 ml de látex centrifugado.
2. Se mezcla bien la muestra de látex.
3. Se pesa el beaker de 100 ml (apuntar el peso = P.P.)
4. Se pesa 2 g aproximadamente de la muestra de látex en el beaker de 100 ml (apuntar el peso = P.I.)
5. Se coloca el horno de microondas en DEFROST y luego se coloca la muestra ya pesada.
6. Se coloca el timer a 600 seg (10 min).
7. Se saca el beaker con la muestra después de los 600 seg (10 min).
8. Se pesa el beaker con la muestra (apuntar el peso = P.F.) ya fría.
9. Se saca el porcentaje de sólidos totales con la siguiente formula:

$$\%ST = ((PF - PP) / (PI - PP)) * 100 \quad (7)$$

2.2.1.2. Análisis de densidad y gravedad específica

Equipo y materiales

- 1 balanza analítica marca OHAUS E400D (+/- 0.01 g).
- 1 picnómetro marca GARDCO modelo WG-SS-83.2 de acero inoxidable.

Procedimiento

1. Se saca muestra de látex natural centrifugado de 800 ml.
2. Se quita todo el exceso de aire en el látex y se homogeneiza la muestra.
3. Se tara el picnómetro con todo y tapa en la balanza analítica.

4. Se llena el picnómetro con látex hasta 1 mm por debajo de la orilla del picnómetro, luego colocar la tapa.
5. Se limpia el sobrante de látex.
6. Se coloca el picnómetro con el látex en la balanza.
7. Se calcula la densidad y la gravedad específica según las siguientes formulas:

$$\text{densidad (g/cm}^3\text{)} = \text{masa en gramos del látex} * 0.10 * 0.11981 \quad (8)$$

$$\text{gravedad específica (g.e.)} = \text{masa en gramos del látex} * 0.01202 \quad (9)$$

2.2.1.3. Análisis de pH

Equipo y materiales

- 1 potenciómetro marca CORNING modelo 340.
- 1 beaker de 100 ml de pyrex.
- 200 ml de solución buffer pH = 7.

Procedimiento

1. Se calibra el potenciómetro con una solución buffer pH = 7.
2. Se coloca 80 ml de látex natural en el beaker de 100 ml.
3. Se introduce el electrodo en el látex y se espera 300 seg (5 min), después de que este estabilizada la lectura leer el pH y la temperatura, apuntar los datos.

2.2.1.4. Análisis de viscosidad

Equipo y materiales

- 1 viscosímetro marca BROOKFIELD modelo LVF serie 96093.
- 1 aguja para viscosímetro No. 3.
- 1 aguja para viscosímetro No. 1.
- 1 beaker de 600 ml de pyrex.

Procedimiento

1. Se pesa una muestra de látex natural centrifugado de 453.6 g (1 lb), en el beaker de 600 ml.
2. Se nivela el viscosímetro y se coloca con cuidado la aguja No. 3 o No. 1 según sea el caso.
3. Se introduce la aguja en el látex, en el centro del beaker. Se baja con cuidado la aguja hasta su nivel.
4. Se conecta el viscosímetro a 60 r.p.m. y se deja que gire hasta que se estabilice la medida en el visor.
5. Se desconecta con cuidado el viscosímetro sin perder la medida.
6. Se calcula los centipoise según la siguiente formula:

$$\text{Lectura en el visor(para aguja 1)} * 1 = \text{viscosidad en centipoise} \quad (10)$$

$$\text{Lectura en el visor(para aguja 3)} * 20 = \text{viscosidad en centipoise} \quad (11)$$

2.2.1.5. Estabilidad Mecánica (MST)

Equipo y materiales

- 1 batidora marca WARNING de 2 velocidades modelo 31DM43.
- 1 balanza analítica marca OHAUS E400D (+/-0.001 g).
- 1 beaker plástico de 1000 ml.
- 1 cronómetro.

Procedimiento

1. Se pesa una muestra de látex natural centrifugado de 250 g en la balanza analítica.
2. Los 250 g de látex se pasan al vaso de la batidora.
3. Se coloca el vaso en la batidora y se conecta la batidora en la velocidad alta.
4. Se toma el tiempo desde el momento en que empieza a batir hasta el momento en que empiezan a formarse los primeros coágulos. (Se toma el tiempo en segundos).

2.2.1.6. Prueba del cloroformo

Equipo y materiales

- 1 beaker de 50 ml de pyrex.
- 1 l de cloroformo para análisis marca MERCK.
- 1 varilla de agitación de vidrio.

Procedimiento

1. Se saca una muestra de 800 a 1000 ml de látex a prevulcanizar o prevulcanizado.

2. En el beaker de 50 ml se agrega 10 ml de látex.
3. Se agrega 10 ml de cloroformo.
4. Con la varilla de agitación se mezcla el cloroformo con el látex.
5. Se mezcla hasta que se formen pequeños coágulos, si esto ocurriera o no se compara el resultado con las figuras que se muestran en **THE VANDERBILT LATEX HANDBOOK**, (ref. No.3) tercera edición pg. 110.

Donde:

No.1 - El coágulo es una masa pegajosa y se rompe en forma filamentosa al ser estirado.

No. 2 - El coágulo es un grumo débil que se rompe a poco de ser estirado.

No. 3 - El coágulo está en forma de un aglomerado no pegajoso.

No. 4 - El coágulo está en forma de pequeñas masas secas.

No. 1 es juzgado como no vulcanizado y No. 4 como avanzado estado de vulcanizado. El resultado debe ser igual a la figura No. 4.

2.2.1.7. Hinchamiento en el equilibrio (Prueba de dilatación)

Equipo y materiales

- 1 plancha de vidrio de 20.5 * 20.5 * 0.5 cm.
- 1 rollo de cinta adhesiva de 2.54 cm (1 pulg).
- 1 hoja de papel milimétrico.
- 1 cronómetro.
- 1 plato petri de 100 * 15 mm.
- 1 l de Tolueno para análisis marca MERCK.
- 1 micrómetro de 0.0025 a 1.27 cm (0.001 a 0.5 pulg).

- 1 plancha de polipropileno de 30.5 * 30.5 * 2.54 cm.
- 1 martillo de cuero de 2.04 Kg (4.5 lb).
- 1 sacabocados de hierro de 2.54 cm (1 pulg) de diámetro

Procedimiento

1. Se saca una muestra de 800 a 1000 ml de látex.
2. En la plancha de vidrio se forma un rectángulo de 10.16 * 25.4 * 0.0254 cm (4 * 10 * 0.010 pulg) con la cinta adhesiva.
3. Se mezcla bien la muestra luego se saca 15 ml de látex y se esparce uniformemente a lo largo del interior del rectángulo. Luego se coloca en un lugar donde no exista desnivel.
4. Se deja secar.
5. Luego que este seca la película, se rocía un poco de talco y se despega la película con cuidado a manera que no se pegue o rompa.
6. Se mide un pedazo de la película que tenga un espesor de 0.0254 cm (1/100 de pulgada) luego con el sacabocados se corta el pedazo sobre la plancha de polipropileno.
7. Se hace un cuadro en el papel milimétrico que mida 4.37 cm * 4.37 cm (1.72 pulg * 1.72 pulg).
8. Se agrega al plato petri de 10 a 20 ml de Tolueno.
9. Se coloca el plato sobre el papel milimétrico ya marcado.
10. Se agrega el círculo cortado en el plato petri con Tolueno y se tapa.
11. El círculo en el Tolueno se deja por 2700 seg (45 min) y luego se toma su diámetro.
12. Se calcula la relación del hinchamiento (dilatación) lineal con la siguiente fórmula: (ref. No. 10)

$$L = L2 / L1 \quad (12)$$

donde:

L1 = longitud inicial en cm o pulg.

L2 = longitud hinchada en cm o pulg.

13. Determinar el grado de vulcanización.

Entonces si:

$L \geq 2.6$ látex no vulcanizado

$2.0 \leq L \leq 2.6$ látex ligeramente vulcanizado

$1.8 \leq L \leq 2.0$ látex moderadamente vulcanizado

$L \leq 1.75$ látex totalmente vulcanizado

2.2.2. Estabilizador 1, estabilizador 2, acelerador, agente vulcanizador, donador de azufre y catalizador

2.2.2.1. Análisis de sólidos totales

(ver procedimiento 2.2.1.1.)

2.2.2.2. Análisis de densidad y gravedad específica

(ver procedimiento 2.2.1.2.)

2.2.2.3. Análisis de pH

(ver procedimiento 2.2.1.3)

2.2.2.4. Análisis de viscosidad

(ver procedimiento 2.2.1.4.)

2.3. Determinación de los módulos de elasticidad

2.3.1. Determinación de las fórmulas a utilizar

Para determinar los o el ingrediente activo se deben de realizar varias pruebas, teniendo como referencia una formula base que en este caso es la siguiente:

Tabla V. Fórmula 3

<u>Compuesto</u>	<u>phr</u>
Sol. de base fuerte al 10%	0.428
Estabilizador I	0.332
Estabilizador 2	0.158
Acelerador	0.380
Agente de vulcanización	0.095
Donador de azufre	0.285
Catalizador	0.380
Látex natural centrifugado	100.000
Total	102.058

Debido a que solo ciertos ingredientes son los que realizan el trabajo de formar enlaces entre las moléculas de hule (ver marco teórico, vulcanización) se pueden descartar los agentes estabilizadores del látex ya que su función es solamente de estabilizar.

Como en muchas composiciones de caucho seco, la adición de óxido de zinc acelera la vulcanización y mejora las propiedades físicas y de resistencia a la acción del tiempo, pero se ha de emplear con cuidado el óxido de zinc en el látex, pues con un pH relativamente bajo se forman iones de Zn^{+2} que reducen la estabilidad de la composición y con un pH relativamente elevado se forman iones complejos de zinc que producen el mismo efecto. Debido a que un aumento en la concentración de óxido de zinc y un aumento o disminución del pH pueden afectar la vulcanización, provocando coágulos indeseables se opto mejor por dejar la concentración del catalizador constante.

Las siguientes son las fórmulas a utilizar para determinar que compuestos pueden ser los recomendables a variar sus concentraciones para obtener un módulo de elasticidad parecido al estándar, los sólidos totales a utilizar durante todas las pruebas deben hacerse con látex natural centrifugado con una concentración entre 60 a 63 %. Bajando su concentración después de la formulación a 46% de sólidos totales y así utilizarlo para hacer la película de látex.

Algo importante es que se deben hacer pruebas con látex natural centrifugado a 46% de sólidos totales sin vulcanización o formulación alguna para ello se utiliza la siguiente fórmula:

Tabla VI. Fórmula 4

<i><u>Compuesto</u></i>	<i><u>phr</u></i>
Látex centrifugado	100.0
Agua	0.0
Sólidos totales	46%

Y otra con la fórmula base (fórmula No. 3).

A continuación se presentan las restantes fórmulas:

1. Variación de la concentración del acelerador

Tabla VII. Fórmulas 5, 6 y 7

Fórmula No.=>	5	6	7
<i><u>Compuesto</u></i>	<i><u>phr</u></i>	<i><u>phr</u></i>	<i><u>phr</u></i>
<i>Látex centrifugado</i>	100.000	100.000	100.000
<i>Sol. de base al 10%</i>	0.428	0.428	0.428
<i>Estabilizador 1</i>	0.332	0.332	0.332
<i>Estabilizador 2</i>	0.158	0.158	0.158
<i>Acelerador</i>	0.000	0.600	1.200
<i>Agente vulcanizador</i>	0.095	0.095	0.095
<i>Donador de azufre</i>	0.285	0.285	0.285

<i>Catalizador</i>	0.380	0.380	0.380
<i>Agua</i>	0.000	0.000	0.000

2. Variación de la concentración del agente vulcanizador

Tabla VIII. Fórmulas 8, 9 y 10

Fórmula No.=>	8	9	10
<u>Compuesto</u>	<u>phr</u>	<u>phr</u>	<u>phr</u>
<i>Látex centrifugado</i>	100.000	100.000	100.000
<i>Sol. de base al 10%</i>	0.428	0.428	0.428
<i>Estabilizador 1</i>	0.332	0.332	0.332
<i>Estabilizador 2</i>	0.158	0.158	0.158
<i>Acelerador</i>	0.380	0.380	0.380
<i>Agente vulcanizador</i>	0.000	0.150	0.300
<i>Donador de azufre</i>	0.285	0.285	0.285
<i>Catalizador</i>	0.380	0.380	0.380
<i>Agua</i>	0.000	0.000	0.000

3. Variación de la concentración del donador de azufre

Tabla IX. Fórmulas 11, 12 y 13

Fórmula No.=>	11	12	13
<u>Compuesto</u>	<u>phr</u>	<u>phr</u>	<u>phr</u>
<i>Látex centrifugado</i>	100.000	100.000	100.000
<i>Sol. de base al 10%</i>	0.428	0.428	0.428
<i>Estabilizador 1</i>	0.332	0.332	0.332
<i>Estabilizador 2</i>	0.158	0.158	0.158
<i>Acelerador</i>	0.380	0.380	0.380
<i>Agente vulcanizador</i>	0.095	0.095	0.095
<i>Donador de azufre</i>	0.000	0.450	0.900
<i>Catalizador</i>	0.380	0.380	0.380
<i>Agua</i>	0.000	0.000	0.000

Para la fórmula No. 1 no existe una formulación que se pueda hacer, ésta no se conoce, para calcular el módulo de elasticidad se utiliza una película de látex (globo No. 16 sin color) ya fabricada por una empresa mexicana denominada Látex Occidental S.A. de C.V. Para la fórmula No. 2 ocurre lo mismo se calcula el módulo de elasticidad a una película de látex (globo No. 16 sin color) ya fabricada por una empresa estadounidense llamada Qualatex.

2.3.2. Vulcanización

Equipo y materiales

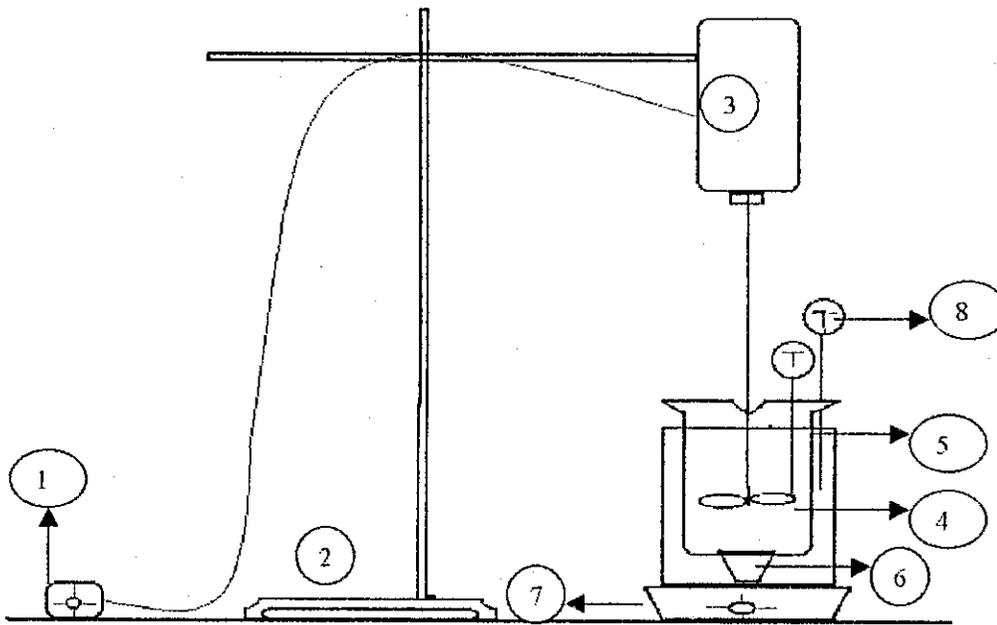
- 1 balanza electrónica modelo 50S serie 210772 para 2.268 Kg(5 lb).
- 1 pichel peltrado para 1.81 a 2.268 Kg (4 a 5 lb)de agua.
- 1 recipiente metálico para 13.61 Kg (30 lb(3.5 gal)) de agua.
- 1 agitador marca Fischer Scientific No. Cat. 14-498-45 con soporte metálico, hélice y regulador de velocidad.
- 1 base para pichel peltrado.
- 1 estufa eléctrica modelo No. UL 280 marca Capitol Products, Co.
- 2 termómetros de carátula de 0 a 130°C.
- 1 tapadera de lámina para el pichel de 1.81 a 2.268 Kg (4 a 5 lb).
- 1 recipiente plástico para 2 l.

Procedimiento

1. Se pesa en la balanza analítica 1.36 Kg (3 lb) de látex natural centrifugado y se pone en el pichel peltrado.
2. Se arma el siguiente aparato según lo muestra la figura No. 9:

Figura No.9 Aparato para vulcanizar

1. Regulador de velocidad.
2. Soporte metálico.
3. Motor.
4. Pichel peltrado.
5. Recipiente metálico para 13.61 Kg (30 lb) de agua.
6. Base.
7. Estufa eléctrica.
8. Termómetro.



3. Al estar armado el aparato se agrega agua en el recipiente de 13.61 Kg (30 lb), para que el látex quede en baño de María.
4. Se pone a agitar el látex.

5. Se pesan los ingredientes a agregar según las fórmulas determinadas en la sección 2.3.1.
6. Se calienta el látex y se agregan los ingredientes en el siguiente orden:
 - i. Solución de base fuerte al 10 %.
 - ii. Estabilizador 1.
 - iii. Estabilizador 2.
 - iv. Acelerador.
 - v. Agente vulcanizador.
 - vi. Donador de azufre.
 - vii. Catalizador.
7. Se eleva la temperatura del látex hasta 54.5°C y se mantiene tapado por la evaporación.
8. Cada hora se saca una muestra de 10 ml para hacer la prueba del cloroformo y se determina su grado de vulcanización.
9. Se para la prueba cuando el grado de vulcanización sea de un cloroformo No. 4 o hayan pasado 43200 seg (12 horas) de calentamiento.
10. Se pone a enfriar hasta una temperatura ambiente aproximadamente de 25°C.

2.3.3. Análisis final del vulcanizado

2.3.3.1. Análisis de sólidos totales

(ver procedimiento 2.2.1.1.)

2.3.3.2. Análisis de densidad y gravedad específica

(ver procedimiento 2.2.1.2.)

2.3.3.3. Análisis de pH

(ver procedimiento 2.2.1.3.)

2.3.3.4. Análisis de viscosidad

(ver procedimiento 2.2.1.4.)

2.3.3.5 Estabilidad mecánica

(ver procedimiento 2.2.1.5.)

2.3.3.6. Prueba de cloroformo

(ver procedimiento 2.2.1.6.)

2.3.3.7. Hinchamiento en el equilibrio (Prueba de dilatación)

(ver procedimiento 2.2.1.7.)

2.3.4. Formulación del coagulante

Equipo y materiales

- 1 Olla peltrada para 13.25 l (3.5 gal).
- 1 agitador marca Fischer Scientific No. Cat. 14-498-45, con soporte metálico, hélice y regulador de velocidad.
- 1 estufa eléctrica marca Capitol Products, Co., modelo No. UL 280

Procedimiento

1. Se pesa 6.92 Kg (15.25 lb) de agua en un recipiente peltrado.
2. Se pesan los siguientes ingredientes:

Tabla X. Fórmula 14

<i>Compuesto</i>	<i>Kg</i>
<i>Surfactante</i>	0.068
<i>Talco</i>	0.553
<i>Humectante</i>	0.068
<i>Ingrediente activo</i>	3.452
<i>Alcohol</i>	0.277

3. Se coloca el recipiente peltrado encima de la estufa eléctrica.
4. Se coloca el agitador dentro del recipiente peltrado con agua y se pone a funcionar suavemente.
5. Se agregan uno a uno los ingredientes pesados en el paso No. 2 en el orden que se indica (siempre mezclando).
6. Se calienta la solución hasta 48°C.

2.3.5. Análisis del coagulante

2.3.5.1. Análisis de sólidos totales

(ver procedimiento 2.2.1.1.)

2.3.5.2. Análisis de densidad y gravedad específica

(ver procedimiento 2.2.1.2.)

2.3.5.3. Análisis de pH

(ver procedimiento 2.2.1.3.)

2.3.5.4. Análisis de viscosidad

(ver procedimiento 2.2.1.4.)

2.3.5.5. Conteo de polvo

Equipo y materiales

- 1 centrifuga marca Clay Adams serie 101115 No. Cat. 0131
- 2 tubos plásticos graduados para centrifuga de 15 ml.

Procedimiento

1. Se agrega 10 ml de solución de coagulante bien homogeneizada a cada tubo para centrifuga.
2. Se colocan los tubos en la centrifuga.
3. Se conecta la centrifuga por 600 seg (10 min).
4. Pasados los 600 seg (10 min) se sacan los tubos de la centrifuga.
5. Se quita la capa superior en los tubos (líquido).
6. Luego con golpes suaves se hace que el talco baje, luego se toma la medida, este número se toma como porcentaje.

2.3.5.6. Análisis de sólidos suspendidos y sólidos disueltos

Equipo y materiales

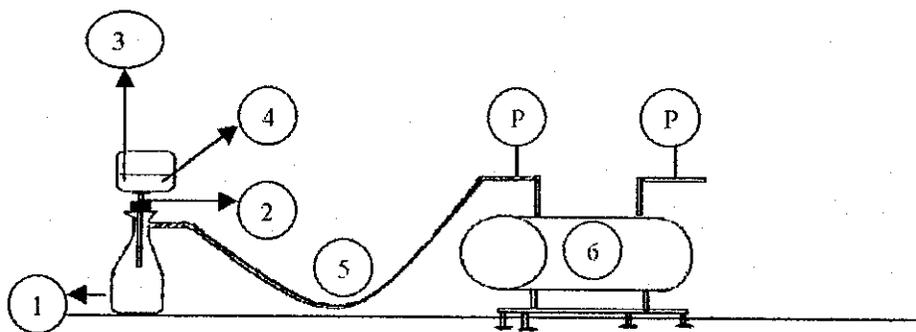
- 1 probeta de 500 ml.
- 1 balanza analítica marca OHAUS E400D (+/- 0.001 g).
- 1 beaker de plástico de 1000 ml.
- 1 balanza analítica marca OHAUS G110 (+/- 0.00001 g).
- 1 microondas marca Welbilt modelo No. MR622W.
- 1 quitasato de 1000 ml.

- 1 embudo para filtrar de plástico y de 12 cm de diámetro.
- 1 tapón de hule con agujero para el quitasato.
- 1 manguera de hule para conexión de 0.25 cm (¼ pulg) de diámetro interno.
- 1 bomba de vacío marca GAST modelo ROA-P131-AA.
- 1 papel filtro No. 1.
- 2 platos de aluminio de 21.59 cm (8.5 pulg) de diámetro.
- 1 horno eléctrico de 33*62*58 cm.

Procedimiento

1. Se arma el aparato para filtrar al vacío según la figura No. 10:

Figura No. 10 Aparato para filtrar al vacío



1. Quitasato.
2. Tapón de hule.
3. Embudo.
4. Papel filtro.
5. Manguera de hule de 0.25 cm (¼ pulg) de diámetro interno.

6. Bomba de vacío.

2. Se mezcla bien la muestra de coagulante en el beaker de 1000 ml.
3. Se tara la probeta de 500 ml.
4. Se pesa 200 ml de coagulante y se apunta el peso.
5. Se pone a funcionar el aparato para la filtración.
6. Se agrega los 200 ml de coagulante en el embudo y se espera 15 min.
7. Luego de los 15 min. se apaga el aparato.
8. Se pesa el filtrado.
9. Al filtrado se le sacan los sólidos totales para lo cual se realiza el procedimiento 2.2.1.1.

10. Después de haber sacado los sólidos totales al filtrado se utiliza la siguiente formula para determinar los sólidos disueltos (%SD):

$$\%SD = ((\%ST) * (\text{peso del filtrado}) / \text{peso de los 200ml de coag.}) * 100$$

(13)

11. El precipitado se recolecta en el papel filtro y se coloca en un plato de aluminio previamente tarado.
12. Este es colocado en un horno eléctrico a 130°C hasta que la masa sea constante a +/- 0.01 g.
13. Luego es pesado y se usa la siguiente fórmula para calcular los sólidos suspendidos(%SS):

$$\%SS = ((\text{peso del precipitado seco}) / (\text{peso de los 200 ml de coag.})) * 100$$

(14)

2.3.6. Procedimiento para hacer muestra de película de látex

Equipo y materiales

- 1 horno eléctrico de 33*62*58 cm.
- 1 estufa eléctrica marca Capitol Products, Co. Modelo No. UL280
- 1 plancha de vidrio de 0.25*18*18 cm.
- 1 tanque de vidrio de 9*21*18 cm y 0.25 cm de espesor.
- 1 olla peltrada para 13.25 l (3.5 gal).
- 1 termómetro de carátula de 0 a 130°C
- 1 par de guantes de cuero

Procedimiento

1. Se calienta el coagulante en la olla peltrada, sobre la estufa hasta 48°C.
2. Se agrega el látex vulcanizado en el tanque de vidrio, se quita toda la espuma y nata.
3. Se calienta por 240 seg (4 min) la plancha de vidrio a 110°C en el horno.
4. Luego se saca con cuidado de no quemarse (usar guantes).
5. Ya listo el coagulante a 48°C, bien mezclado y sin espuma se sumerge el vidrio por unos 25 segundos.
6. Se saca la plancha y se deja que escurra un poco.
7. Se mete al horno por 180 seg (3 min) para que la película de coagulante seque (No se toca la película de coagulante).
8. Se saca la plancha con el coagulante del horno y luego se sumerge por 45 segundos en el tanque con el látex vulcanizado de la siguiente forma:
 - i. 10 segundos para la inmersión.
 - ii. 25 segundos sumergido.

- iii. 10 segundos para sacarla.
- 9. Luego se coloca la plancha en el horno por 1200 seg (20 min) a 110°C.
- 10. Se saca la plancha de vidrio con la película de látex y se agrega talco sobre la superficie del látex.
- 11. Se saca la película de látex a manera de no romperla. Se limpia bien la película.
- 12. Se deja 1 día a temperatura ambiente para poder utilizarla.

2.3.7. Prueba de esfuerzo-deformación unitaria

(ver procedimiento 2.1.2.)

2.3.8. Determinación de los módulos de elasticidad de las fórmulas

(ver procedimiento 2.1.3.)

2.4. Cálculo estadístico

Después de tenerse los datos de las tres muestras (esfuerzo y deformación unitaria), se procede a obtener un promedio entre los tres primeros datos, entre los tres segundos datos y así sucesivamente para obtener una tabla que representa el comportamiento del material a determinados esfuerzos. Luego se obtienen las tablas, se procede a graficarlas esto se realiza por medio de un programa Excel. Se procede luego a calcular la “mejor” recta dividiendo la tabla en dos partes ya que existen dos diferentes rectas, para lo cual se utiliza el método de mínimos cuadrados, donde las ordenadas son los esfuerzos y las abscisas las deformaciones unitarias (7 y 4).

Después se obtiene la ecuación de la recta:

$$y = B1*x + B0 \quad (6)$$

Donde B1 es la pendiente y B0 es la ordenada al origen.

Para calcular la mejor recta se usa calculadora Casio FX-880P la cual posee un programa de mínimos cuadrados este programa se debe aplicar varias veces entre diferentes puntos hasta obtenga una recta que posea la mejor correlación (r).

Después de haber calculado las rectas se procede a calcular lo siguiente: la sumatoria de X, la sumatoria de Y, la sumatoria de X², la sumatoria de Y², la sumatoria de la multiplicación de X y Y, además para cada recta se debe establecer el número de datos (n) y la distribución t con un alfa(α) de 0.05 (ref. No.4 Apéndice A-9).

Luego se deben calcular los siguientes datos:

$$1. S_{xx} = \text{Suma de } (X_i)^2 \text{ desde } i \text{ hasta } n - \frac{(\text{Suma de } X_i \text{ desde } i \text{ hasta } n)^2}{n} \quad (15)$$

$$2. S_{xy} = \text{Suma de } (X_i)(Y_i) \text{ desde } i \text{ hasta } n - \frac{(\text{Suma de } X_i \text{ desde } i \text{ hasta } n)(\text{Suma de } Y_i \text{ desde } i \text{ hasta } n)}{n} \quad (16)$$

$$3. S_{yy} = \text{Suma de } (Y_i)^2 \text{ desde } i \text{ hasta } n - \frac{(\text{Suma de } Y_i \text{ desde } i \text{ hasta } n)^2}{n} \quad (17)$$

$$4. SSE = S_{yy} - (m)^2(S_{xx}) \quad (18)$$

$$5. \sigma^2 = (SSE / n-2) \quad (19)$$

6. Error estándar estimado de la pendiente (Se (B1))

$$Se (B1) = (\sigma^2 / S_{xx})^{1/2} \quad (20)$$

7. Error estándar estimado de la ordenada al origen (Se (B0))

$$Se (B0) = ((\sigma^2 * (1/n + \bar{x}^2 / S_{xx})) \quad (21)$$

Donde x es el promedio de las abscisas o deformaciones unitarias

9. Intervalo de confianza para la pendiente B1 del 100 (1 - α) por ciento

$$B1 - t(\alpha/2), (n-2) * Se(B1) \leq B1 \leq B1 + t(\alpha/2), (n-2) * Se(B1) \quad (22)$$

Donde alfa (α) es 0.05.

10. Intervalo de confianza para la ordenada al origen B0 del 100 (1 - α) por ciento

$$B0 - t(\alpha/2), (n-2) * Se(B0) \leq B0 \leq B0 + t(\alpha/2), (n-2) * Se(B0) \quad (23)$$

Donde (α) es 0.05.

2.5. Procedimiento para determinar el módulo de elasticidad que mejor se acerque al estándar

Después de haber realizado todos los cálculos y haber obtenido los resultados de la sección 2.3 y 2.4 se hace un análisis comparativo de los módulos de elasticidad(B1) obtenidos, con el módulo de elasticidad estándar, para determinar que compuestos químicos son los que se necesitan adicionarse y así obtener una película de látex con un módulo de elasticidad similar al estándar.

3. TABLAS DE RESULTADOS

XI. Látex occidental

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.533	3.1483
1.155	4.6175
2.055	6.1058
3.244	7.5559
4.255	9.0251
4.688	10.4943
4.977	11.9444
5.133	13.3945
5.277	14.8638
5.622	19.2905
5.900	23.6981
6.166	28.0866
6.366	32.8377
6.577	37.5888
6.778	42.3398
6.994	47.0908
7.066	51.9182
7.211	56.7265
7.366	61.5348
7.444	64.3779

XII. Qualatex

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.411	3.0346
0.811	4.6531
1.378	6.1529
2.133	7.6141
2.977	9.4793
3.755	10.5752
4.199	12.0365
4.477	13.4978
4.622	14.9784
4.999	19.4392
5.244	23.8807
5.466	28.3031
5.666	33.0908
5.833	38.7978
6.022	42.6662
6.155	47.4539
6.300	52.3185
6.433	57.1639
6.522	62.0092
6.588	64.8742

XIII. Fórmula
base

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.555	2.9019
1.177	4.2562
2.155	5.6280
3.144	6.9647
3.966	8.3189
4.433	9.6731
4.688	11.0098
4.922	12.3464
5.078	13.7006
5.444	17.7810
5.799	21.8437
6.000	25.8888
6.255	30.2681
6.478	34.6474
6.666	39.0267
6.844	43.4060
7.000	47.8556
7.166	52.2876
7.311	56.7197
7.411	58.0564

XIV. Látex sin
vulcanizar

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.166	0.7638
0.299	1.2913
0.411	1.6369
0.555	1.9642
0.822	2.2916
1.866	2.6190
4.811	2.9281
5.722	3.2373
6.355	3.5647
6.688	3.8739
7.099	4.1831
7.366	4.5105
7.666	4.8378
7.833	5.1470
7.999	5.4926
8.199	5.8017
8.366	6.1291
8.477	6.4565
8.633	6.7657
8.789	7.0931

XV. 0% de acelerador

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.466	2.5600
1.055	3.7547
2.022	4.9648
3.155	6.1440
4.288	7.3386
4.633	8.5299
4.933	9.7125
5.122	10.8916
5.299	12.0863
5.677	15.6858
6.000	19.2698
6.311	22.8384
6.511	26.7016
6.755	30.5649
6.944	34.4282
7.122	38.2915
7.333	42.2168
7.500	46.1267
7.633	50.0366
7.711	52.3482

XVI. 158% de acelerador

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.689	2.8693
1.522	4.2083
2.522	5.5648
3.500	6.8863
4.011	8.2254
4.322	9.5644
4.611	10.8860
4.799	12.2077
4.955	13.5467
5.333	17.5811
5.633	21.5982
5.899	25.5979
6.133	29.9279
6.400	34.2580
6.611	38.5880
6.799	42.9181
6.911	47.3177
7.133	51.6999
7.289	56.0823
7.366	58.6724

XVII. 315% de acelerador

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.866	3.1407
1.844	4.6063
3.055	6.0909
3.767	7.5375
4.322	9.0032
4.711	10.4688
4.911	11.9155
5.133	13.3621
5.299	14.8277
5.644	19.2436
5.989	23.6406
6.277	28.0184
6.488	32.7580
6.699	37.4975
6.922	42.2370
7.144	46.9766
7.311	51.7922
7.477	56.5889
7.633	61.3855
7.700	64.2216

XVIII. 0% de agente vulcanizador

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.244	1.7474
0.499	2.5629
0.844	3.3889
1.322	4.1938
1.999	5.0092
2.711	5.8247
3.433	6.6295
3.955	7.4344
4.144	8.2499
4.711	10.7069
5.077	13.1532
5.277	15.5890
5.511	18.2260
5.722	20.8630
5.922	23.5000
6.077	26.1370
6.266	28.8164
6.399	31.4851
6.522	34.1539
6.611	35.7318

XIX. 158% de agente vulcanizador

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.399	2.4123
0.799	3.5380
1.455	4.6783
2.189	5.7895
2.977	6.9152
3.789	8.0410
4.222	9.1521
4.499	10.2632
4.711	11.3890
5.122	14.7808
5.444	18.1580
5.666	21.5206
5.978	25.1610
6.177	28.8013
6.366	32.4417
6.555	36.0821
6.711	39.7809
6.866	43.4652
7.022	47.1494
7.088	49.3278

XX. 315% de agente vulcanizador

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.255	1.9700
0.488	2.8894
0.799	3.8207
1.278	4.7281
1.822	5.6475
2.289	6.5669
2.899	7.4743
3.422	8.3817
3.844	9.3010
4.555	12.0711
4.967	14.8291
5.233	17.5753
5.489	20.5483
5.711	23.5213
5.888	26.4943
6.033	29.4673
6.222	32.4881
6.344	35.4969
6.488	38.5057
6.577	40.2847

XXI. 0% de donador de azufre

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.488	2.3467
1.078	3.4418
2.022	4.5512
3.189	5.6321
4.099	6.7272
4.644	7.8224
4.933	8.9032
5.111	9.9842
5.277	11.0793
5.711	14.3789
6.066	17.6644
6.333	20.9356
6.599	24.4770
6.822	28.0183
6.999	31.5597
7.222	35.1012
7.377	38.6994
7.544	42.2835
7.677	45.8676
7.766	47.9868

XXII. 158% de donador de azufre

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.433	2.6363
0.922	3.8665
1.644	5.1128
2.422	6.3271
3.411	7.5573
4.000	8.7876
4.289	10.0019
4.522	11.2162
4.733	12.4464
5.111	16.1532
5.411	19.8440
5.655	23.5188
5.889	27.4972
6.111	31.4756
6.266	35.4540
6.433	39.4323
6.578	43.4747
6.733	47.5010
6.866	51.5273
6.988	53.9079

**XXIII. 315% de donador de
azufre**

Def. unitaria	Esfuerzo X10 ⁵ [N/m ²]
0	0
0.577	3.1146
1.177	4.5681
2.011	6.0405
2.955	7.4751
3.711	8.9285
4.189	10.3821
4.499	11.8167
4.711	13.2513
4.877	14.7048
5.255	19.0841
5.522	23.4446
5.755	27.7861
5.989	32.4864
6.199	37.1867
6.389	41.8869
6.566	46.5872
6.711	51.3630
6.855	56.1198
6.988	60.8767
7.099	63.6893

TABLA XXIV. PARTE A. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS COMPUESTOS

COMPUESTO	SÓLIDOS TOTALES [% ST]	DENSIDAD [g / cm ³]	GRAVEDAD ESPECÍFICA [g. e.]	VISCOSIDAD [cp]
Látex centrifugado	60.04	0.944	0.947	82.50
Estabilizador 1	18.28	1.011	1.015	10.00
Estabilizador 2	0.00	1.056	1.059	195.00
Acelerador	47.74	1.120	1.124	300.00
Agente de vulcanización	52.55	1.349	1.353	400.00
Donador de azufre	57.68	1.224	1.228	75.00
Catalizador	48.89	1.590	1.594	525.00
Coagulante	%SS=6.18 %SD=25.46 *C.P.=11%	1.256	1.256	6.00

* C.P.= Conteo de polvo

TABLA XXIV. PARTE B. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS COMPUESTOS

COMPUESTO	pH	TEMPERATURA [° C]	ESTABILIDAD MECÁNICA (MST) [seg]	PRUEBA DE DILATACIÓN	PRUEBA DE CLOROFORMO
Látex centrifugado	10.52	23.2	845	2.95	1
Estabilizador 1	10.12	28.6	-----	-----	-----
Estabilizador 2	9.02	29.3	-----	-----	-----
Acelerador	9.25	28.2	-----	-----	-----
Agente de vulcanización	10.05	24.2	-----	-----	-----
Donador de azufre	8.59	24.5	-----	-----	-----
Catalizador	8.32	24.1	-----	-----	-----
Coagulante	6.39	34.3	-----	-----	-----

TABLA XXV. PRUEBAS DE GRADO DE VULCANIZACIÓN DEL LÁTEX YA FORMULADO

FÓRMULA No.	PRUEBA DE DILATACIÓN	GRADO DE VULCANIZACIÓN	PRUEBA DE CLOROFORMO	TIEMPO DE VULCANIZACIÓN [h]
3	2.0000	MODERADO	3.0-3.5	12.00
4	2.9500	NO VULCANIZADO	1.0	0.00
5	2.2440	LIGERAMENTE	1.0	12.00
6	2.0300	LIGERAMENTE	3.5-4.0	8.00
7	1.9100	MODERADO	4.0	2.25
8	2.3030	LIGERAMENTE	1.0	12.00
9	1.9680	MODERADO	3.5-4.0	12.00
10	1.8700	MODERADO	4.0	2.75
11	2.2240	LIGERAMENTE	1.0	12.00
12	2.0470	LIGERAMENTE	3.5-4.0	8.00
13	1.9100	MODERADO	4.0	4.00

TABLA XXVI. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL LÁTEX YA FORMULADO

FÓRMULA No.	SÓLIDOS TOTALES [%ST]	DENSIDAD [g/cm ³]	GRAVEDAD ESPECÍFICA [g.e.]	VISCO-SIDAD [cp]	pH	TEMPERATURA [°C]	ESTABILIDAD MECÁNICA [seg]
3	45.82	0.961	0.964	13.50	9.58	24.8	>1200
4	45.58	0.956	0.959	12.50	10.15	23.7	>1200
5	45.99	0.962	0.965	12.50	9.44	25.8	>1200
6	45.68	0.962	0.965	13.50	9.98	22.3	>1200
7	46.57	0.962	0.965	13.50	10.32	23.7	>1200
8	46.23	0.950	0.953	12.50	9.34	25.7	>1200
9	45.99	0.963	0.967	14.00	9.15	25.4	>1200
10	45.84	0.962	0.965	13.00	10.32	24.7	>1200
11	46.13	0.963	0.966	13.50	9.08	25.5	>1200
12	46.21	0.962	0.965	13.50	9.63	25.4	>1200
13	45.59	0.962	0.965	11.25	9.98	25.3	>1200

TABLA XXVII. CÁLCULO ESTADÍSTICO

B1= Pendiente
 B0= Ordenada al origen
 S= Esfuerzo [N/m²]
 e= Deformación unitaria

Fórmula No.	Descripción	Modelo lineal	Pto. de intersección	B1	B0
1	Látex occidental	I.S=1.6219x10 ⁵ *e+2.5182x10 ⁵ II.S=33.7193x10 ⁵ *e-186.6400x10 ⁵	(5.8933,12.0767x10 ⁵)	1.6219x10 ⁵ 33.7193x10 ⁵	2.5182x10 ⁵ -186.6400x10 ⁵
2	Qualatex	I.S=2.2150x10 ⁵ *e+2.6928x10 ⁵ II.S=38.8885x10 ⁵ *e-192.0090x10 ⁵	(5.3091,14.4524x10 ⁵)	2.2150x10 ⁵ 38.8885x10 ⁵	2.6928x10 ⁵ -192.0090x10 ⁵
3	Base	I.S=1.5328x10 ⁵ *e+2.2426x10 ⁵ II.S=25.0301x10 ⁵ *e-127.2087x10 ⁵	(5.5092,10.6870x10 ⁵)	1.5328x10 ⁵ 25.0301x10 ⁵	2.2426x10 ⁵ -127.2087x10 ⁵
4	Látex sin vulcanizar	I.S=0.1696x10 ⁵ *e+2.2083x10 ⁵ II.S=2.0060x10 ⁵ e-10.5746x10 ⁵	(6.9610,3.3892x10 ⁵)	0.1696x10 ⁵ 2.0060x10 ⁵	2.2083x10 ⁵ -10.5746x10 ⁵
5	0 % de acelerador	I.S=1.2096x10 ⁵ *e+2.2947x10 ⁵ II.S=22.3909x10 ⁵ *e-121.1254x10 ⁵	(5.8268,9.3429x10 ⁵)	1.2096x10 ⁵ 22.3909x10 ⁵	2.2947x10 ⁵ -121.1254x10 ⁵
6	158% de acelerador	I.S=1.4191x10 ⁵ *e+1.9614x10 ⁵ II.S=22.6329x10 ⁵ e-109.4620x10 ⁵	(5.2524,9.4149x10 ⁵)	1.4191x10 ⁵ 22.6329x10 ⁵	1.9614x10 ⁵ -109.4620x10 ⁵

Continuación de tabla XXVII.

Fórmula No.	Descripción	Modelo lineal	Pto. de intersección	B0	B1
7	315% de acelerador	I.S=1.4676x10 ⁵ *e+1.8464x10 ⁵ II. S=24.9160x10 ⁵ *e-129.3834x10 ⁵	(5.5966, 10.0602x10 ⁵)	1.4676x10 ⁵ 24.9160x10 ⁵	1.8464x10 ⁵ -129.3834x10 ⁵
8	0% de agente vulcanizador	I.S=1.4709x10 ⁵ *e+1.8746x10 ⁵ II.S=17.7656x10 ⁵ *e-81.9437x10 ⁵	(5.1439, 9.4408x10 ⁵)	1.4709x10 ⁵ 17.7656x10 ⁵	1.8746x10 ⁵ -81.9437x10 ⁵
9	158% de agente vulcanizador	I.S=1.6457x10 ⁵ *e+2.0678x10 ⁵ II.S=24.4619x10 ⁵ *e-124.3641x10 ⁵	(5.5413, 11.1873x10 ⁵)	1.6457x10 ⁵ 24.4619x10 ⁵	2.0678x10 ⁵ -124.3641x10 ⁵
10	315% de agente vulcanizador	I.S=1.9169x10 ⁵ *e+2.0009x10 ⁵ II.S=19.4785x10 ⁵ *e-88.0630x10 ⁵	(5.1284, 11.8316x10 ⁵)	1.9169x10 ⁵ 19.4785x10 ⁵	2.0009x10 ⁵ -88.0630x10 ⁵
11	0% de donador de azufre	I.S=1.2226x10 ⁵ *e+1.9244x10 ⁵ II. S=21.0476x10 ⁵ *e-116.0679x10 ⁵	(5.9517, 9.2010x10 ⁵)	1.2226x10 ⁵ 21.0476x10 ⁵	1.9244x10 ⁵ -116.0679x10 ⁵
12	158% de donador de azufre	I.S=1.6365x10 ⁵ *e+2.2146x10 ⁵ II. S=26.0268x10 ⁵ *e-127.6869x10 ⁵	(5.3260, 10.9307x10 ⁵)	1.6365x10 ⁵ 26.0268x10 ⁵	2.2146x10 ⁵ -127.6869x10 ⁵
13	315% de donador de azufre	I.S=1.7976x10 ⁵ *e+2.2751x10 ⁵ II. S=27.3154x10 ⁵ *e-131.2626x10 ⁵	(5.2331, 11.6824x10 ⁵)	1.7976x10 ⁵ 27.3154x10 ⁵	2.2751x10 ⁵ -131.2626x10 ⁵

TABLA XXVIII. CÁLCULO DE ERRORES ESTADÍSTICOS

Se(B1)= Error estándar de la pendiente

Se(B0)= Error estándar de la ordenada al origen

Fórmula No.	Descripción		Se(B1) x10 ³	Se(B0) x10 ³
1	Látex occidental	I.	9.5394	29.2595
		II.	53.1988	379.8493
2	Qualatex	I.	11.0539	28.9066
		II.	155.1623	983.7017
3	Base	I.	6.4430	16.2872
		II.	62.6657	432.5130
4	Látex sin vulcanizar	I.	2.7482	10.6478
		II.	4.8767	40.2500
5	0% de acelerador	I.	8.2114	21.3369
		II.	73.9339	539.2017
6	158% de acelerador	I.	4.0767	9.4297
		II.	87.9808	593.3418
7	315% de acelerador	I.	9.3658	24.6347
		II.	79.4257	563.0154
8	0% de agente vulcanizador	I.	7.5874	19.3796
		II.	62.7890	395.8296
9	158% de agente vulcanizador	I.	6.4874	17.1204
		II.	56.7181	388.5882
10	315% de agente vulcanizador	I.	7.4846	16.9256
		II.	46.0140	284.7091
11	0% de donador de azufre	I.	6.3326	19.0025
		II.	73.1376	537.6354
12	158% de donador de azufre	I.	7.5963	18.9250
		II.	38.8167	255.1999
13	315% de donador de azufre	I.	7.3684	17.519.3
		II.	98.6014	642.8895

TABLA XXIX. CÁLCULO DE ERRORES ESTADÍSTICOS

E(B1)=Intervalo de confianza para la pendiente (B1) del 100(1- α) por ciento

E(B2)=Intervalo de confianza para la ordenada al origen (B0) del 100 (1- α) por ciento

Fórmula No.	Descripción	E(B1) al 95% [$\times 10^5$]	E(B0) al 95% [$\times 10^5$]
1	Látex occidental I.	1.3571 \leq 1.6219 \leq 1.8868	1.7060 \leq 2.5182 \leq 3.3305
	II.	32.2425 \leq 33.7193 \leq 35.1961	-197.1846 \leq -186.6400 \leq -176.0953
2	Qualatex I.	1.9308 \leq 2.2150 \leq 2.4992	1.9496 \leq 2.6928 \leq 3.4360
	II.	34.5812 \leq 38.8885 \leq 43.1958	-219.3166 \leq -192.0090 \leq -164.7015
3	Base I.	1.3278 \leq 1.5328 \leq 1.7378	1.7244 \leq 2.2426 \leq 2.7609
	II.	23.4967 \leq 25.0301 \leq 26.5636	-137.7923 \leq -127.2087 \leq -116.6251
4	Látex sin vulcanizar I.	0.0514 \leq 0.1696 \leq 0.2879	1.7502 \leq 2.2083 \leq 2.6665
	II.	1.8867 \leq 2.0060 \leq 2.1253	-11.5595 \leq -10.5746 \leq -9.5896
5	0% de Acelerador I.	9.4833 \leq 1.2096 \leq 1.4709	1.6157 \leq 2.2947 \leq 2.9736
	II.	20.4901 \leq 22.3909 \leq 24.2917	107.2625 \leq 121.1254 \leq 134.9883
6	158% de Acelerador I.	1.2436 \leq 1.4191 \leq 1.5945	1.5556 \leq 1.9614 \leq 2.3672
	II.	20.5522 \leq 22.6329 \leq 24.7137	-123.4945 \leq -109.4620 \leq -95.4294
7	315% de Acelerador I.	1.0646 \leq 1.4676 \leq 1.8700	0.7864 \leq 1.8464 \leq 2.9065
	II.	23.0376 \leq 24.9160 \leq 26.7944	-142.6987 \leq -129.3834 \leq -116.0681
8	0% de Agente vulcanizador I.	1.2915 \leq 1.4709 \leq 1.6503	1.4163 \leq 1.8746 \leq 2.3329
	II.	16.0226 \leq 17.7656 \leq 19.5086	-92.9319 \leq -81.9437 \leq -70.9555
9	158% de Agente vulcanizador I.	1.4789 \leq 1.6457 \leq 1.8125	1.6276 \leq 2.0678 \leq 2.5079
	II.	22.6572 \leq 24.4619 \leq 26.2667	-136.7290 \leq -124.3641 \leq -111.9992

Continuación de tabla XXIX.

Fórmula No.	Descripción	E(B1) al 95% [x10 ⁵]	E(B0) al 95% [x10 ⁵]
10	315% de agente vulcanizador I.	1.7399<=1.9169<=2.0939	1.6007<=2.0009<=2.4012
	II.	18.2955<=19.4785<=20.6615	-95.3828<=-88.0630<=-80.7431
11	0% de donador de azufre I.	1.0468<=1.2226<=1.3984	1.3969<=1.9244<=2.4520
	II.	19.1672<=21.0476<=22.9279	-129.8905<=-116.0679<=-102.2453
12	158% de donador de azufre I.	1.4257<=1.6365<=1.8474	1.6892<=2.2146<=2.7399
	II.	25.0288<=26.0268<=27.0248	-134.2481<=-127.6869<=-121.1257
13	315% de donador de azufre I.	1.5632<=1.7976<=2.0321	1.7176<=2.2751<=2.8326
	II.	24.9835<=27.3154<=29.6473	-146.4669<=-131.2626<=-116.0582

**4. GRÁFICAS DE ESFUERZO VERSUS DEFORMACIÓN UNITARIA PARA
DIFERENTES SISTEMAS DE CURADO**

Figura 11. Gráfica de Látex Occidental

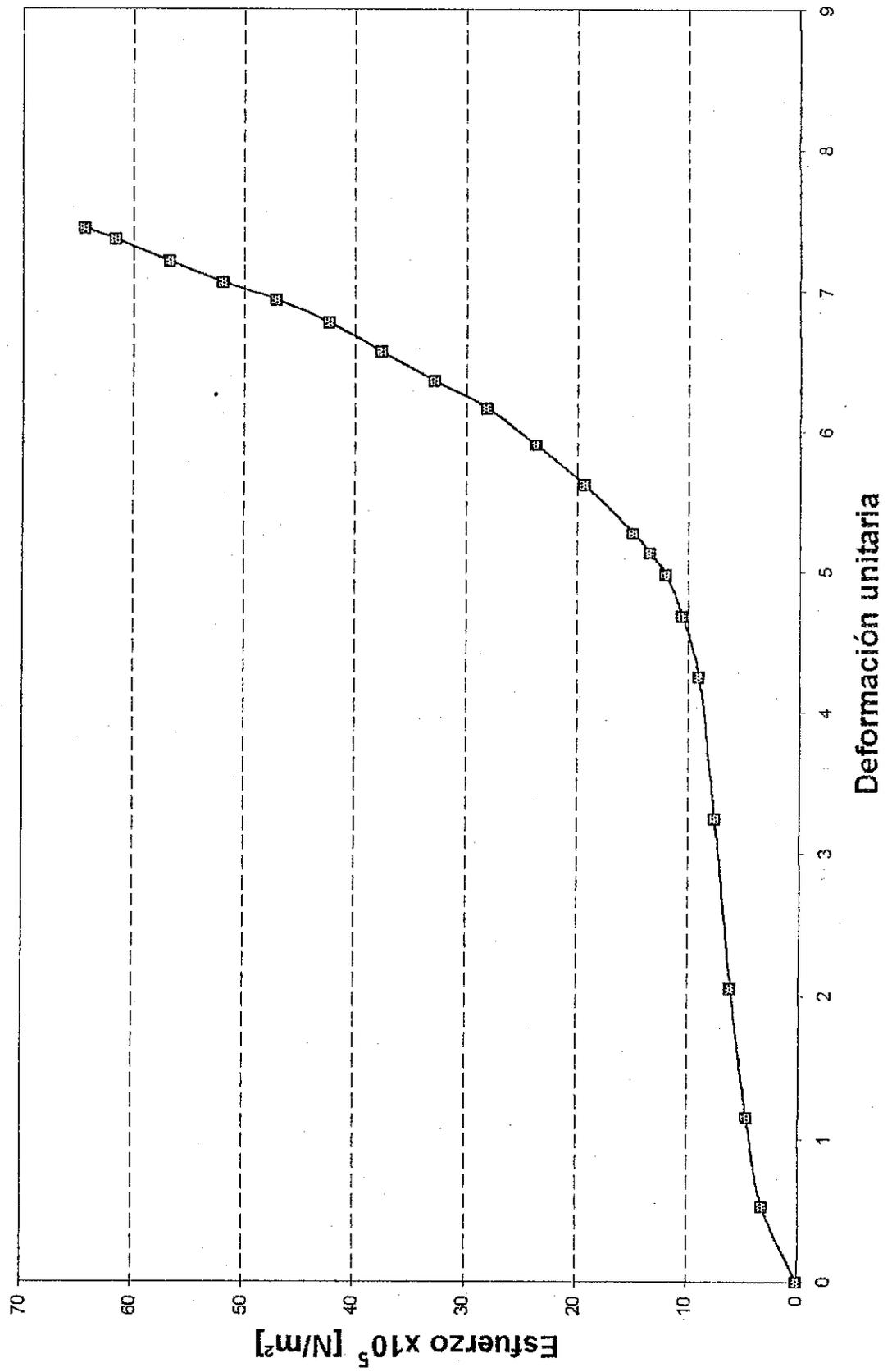


Figura 12. Gráfica de Qualatex

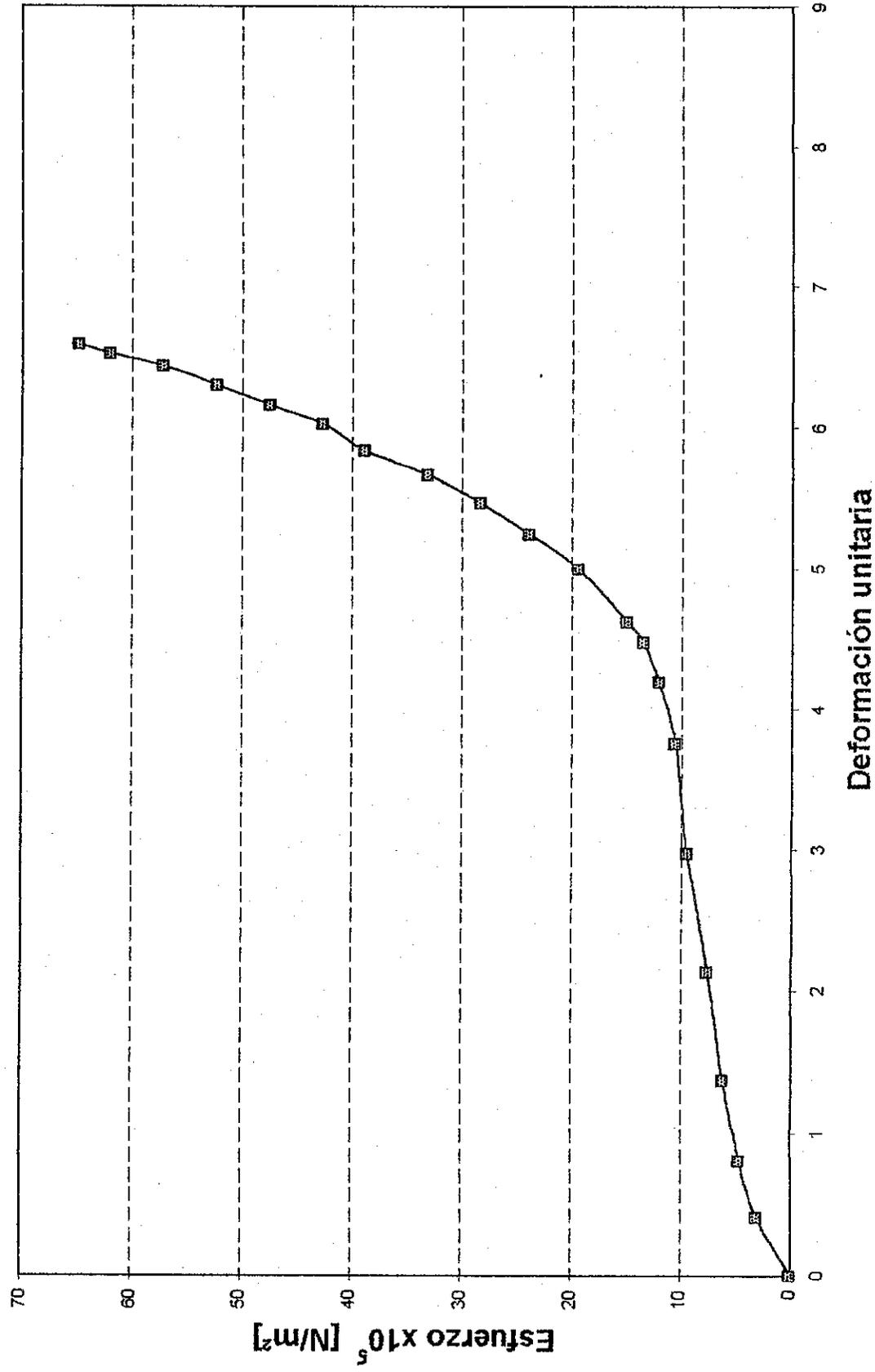


Figura 13. Gráfica de fórmula base

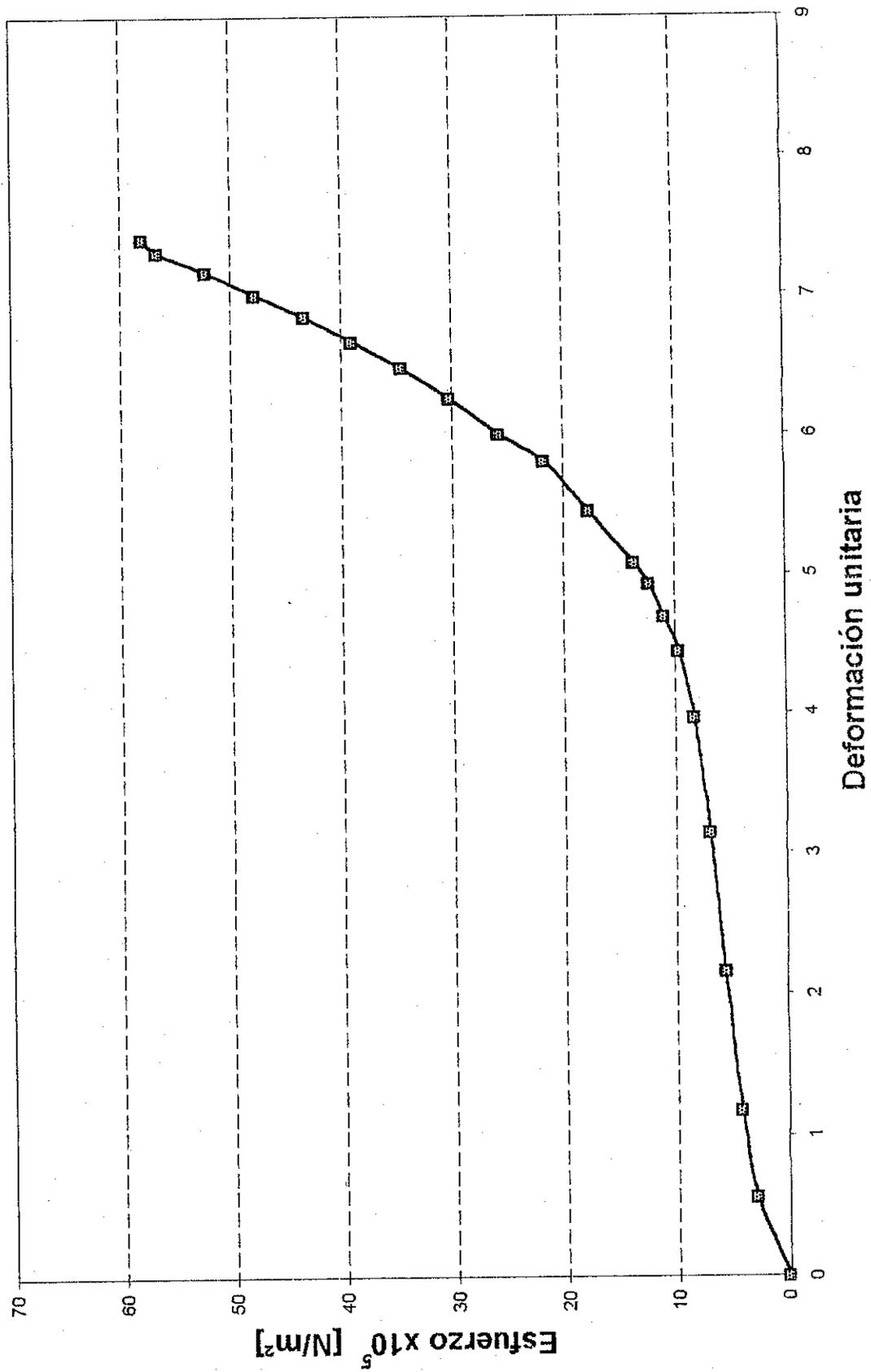


Figura 14. Parte A. Gráfica de látex sin vulcanizar

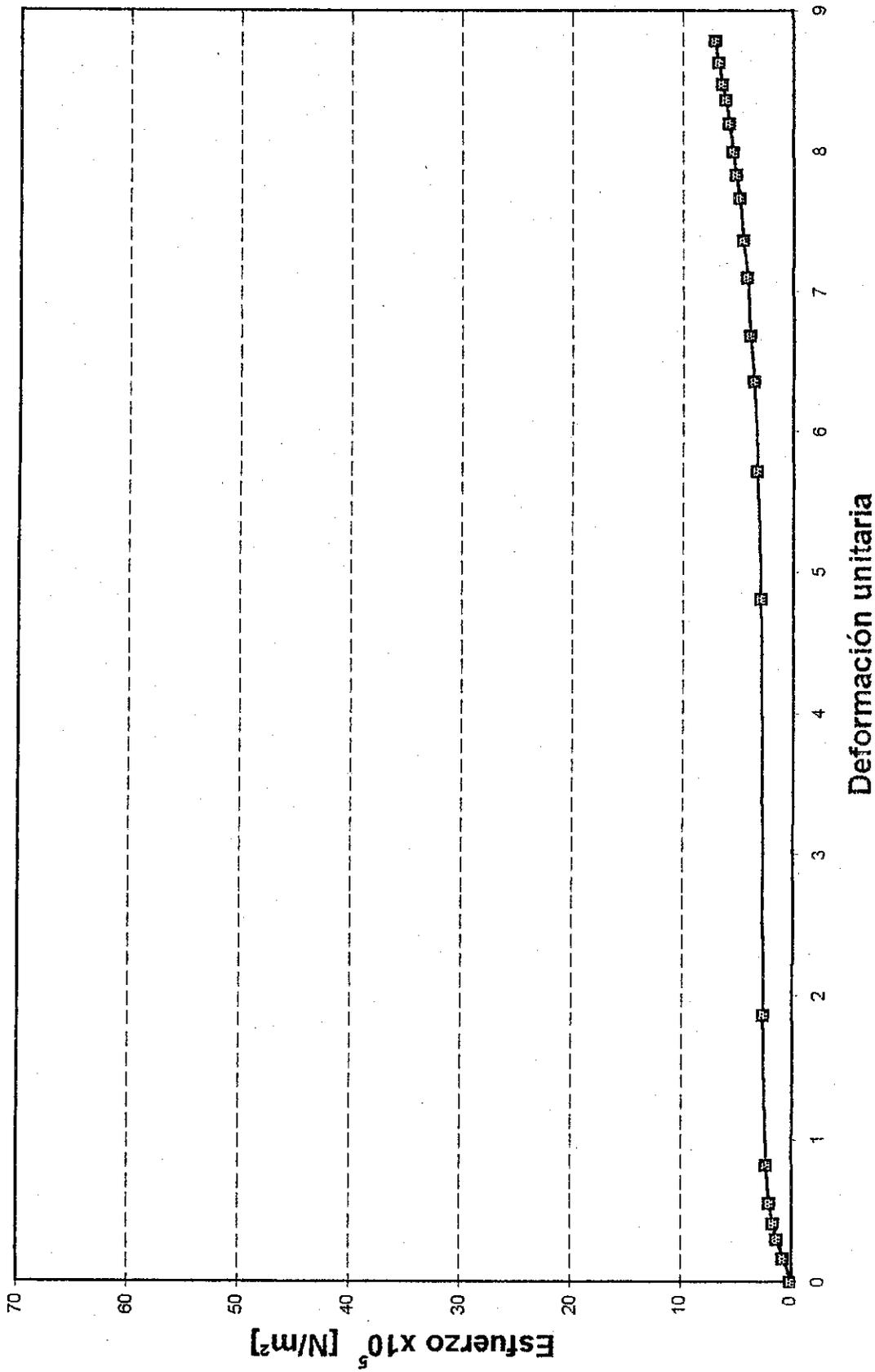


Figura 14. Parte B. Gráfica de látex sin vulcanizar

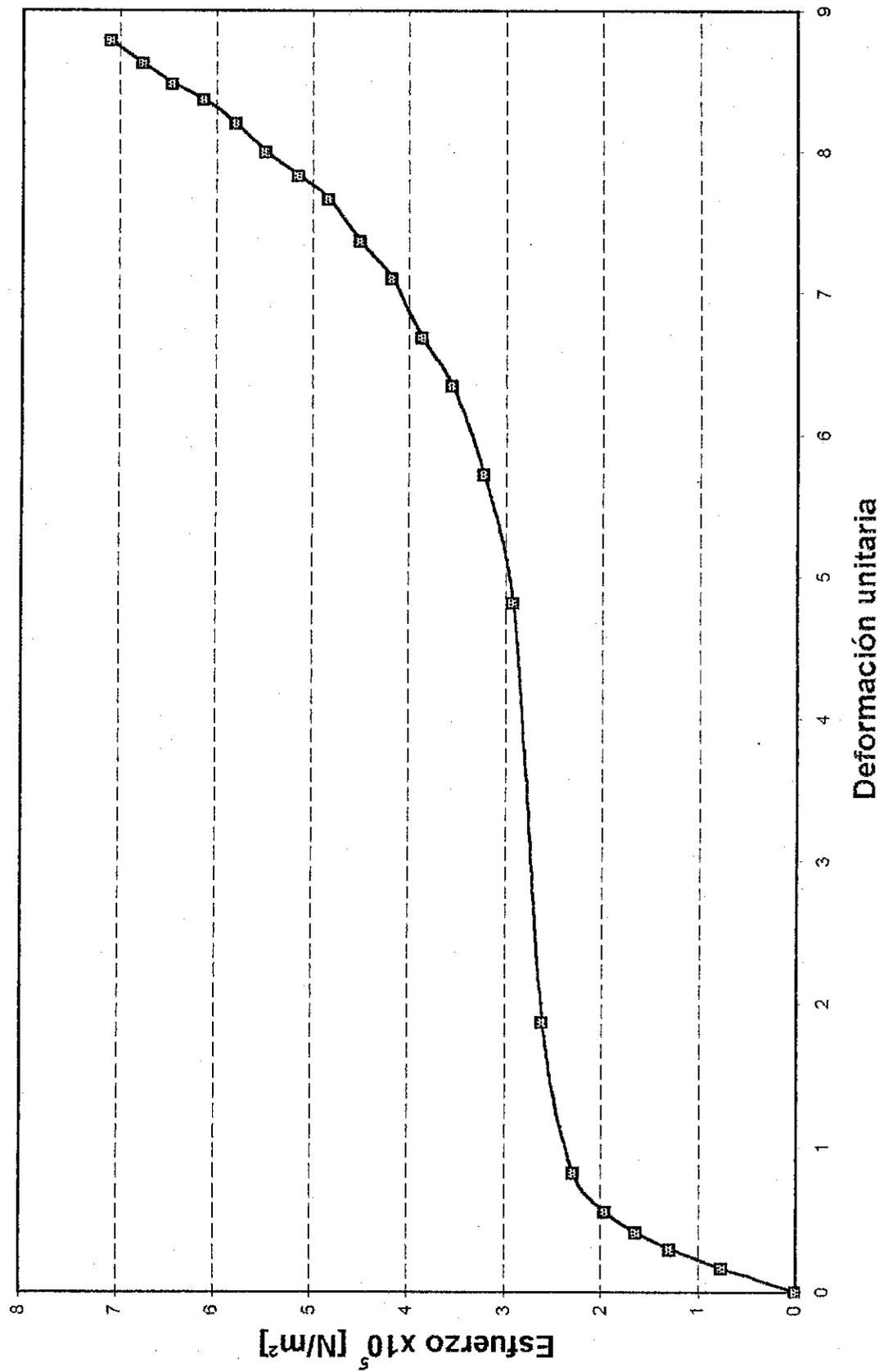


Figura 15. Gráfica del 0 % de acelerador

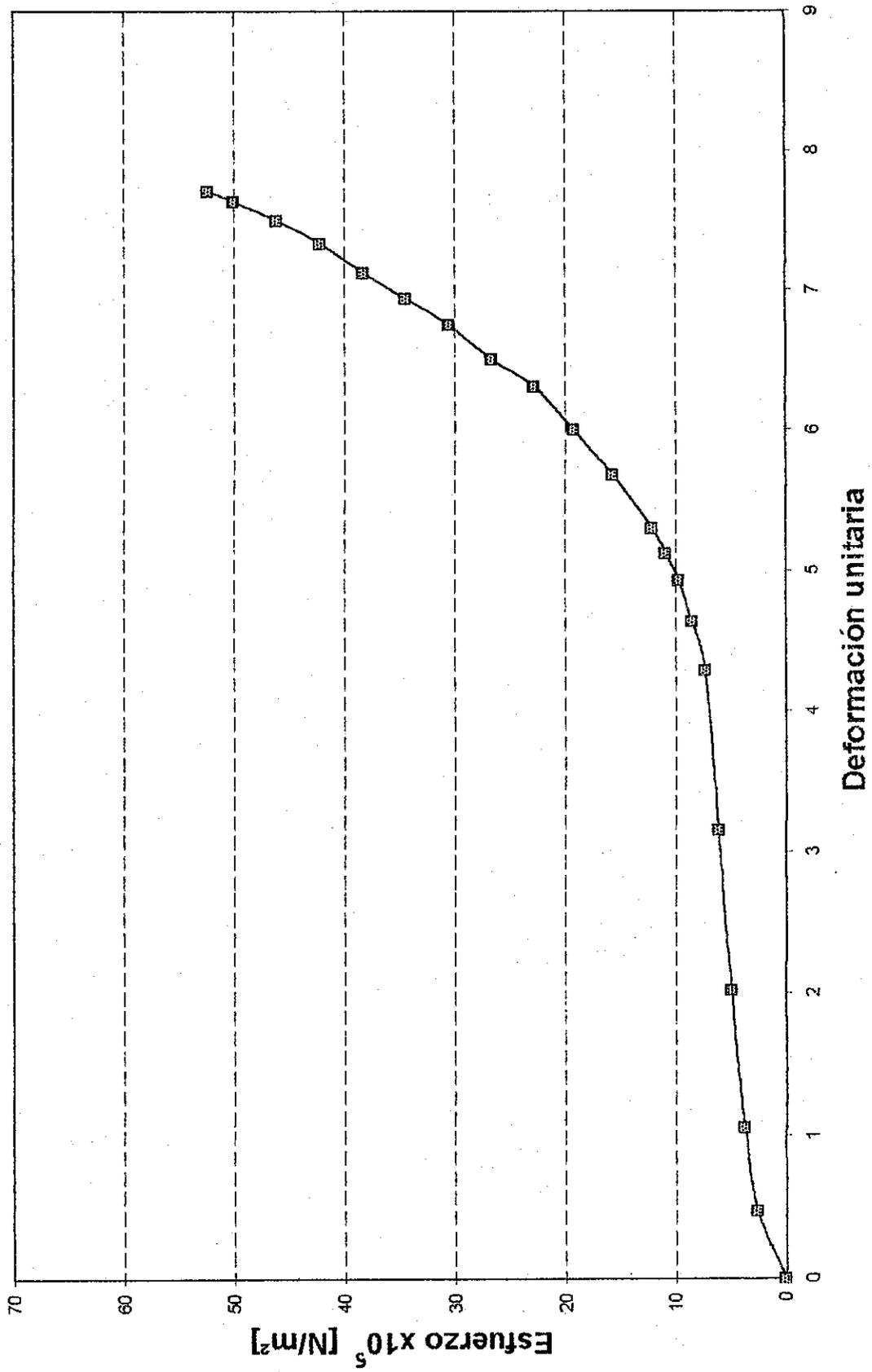


Figura 16. Gráfica del 158 % de acelerador

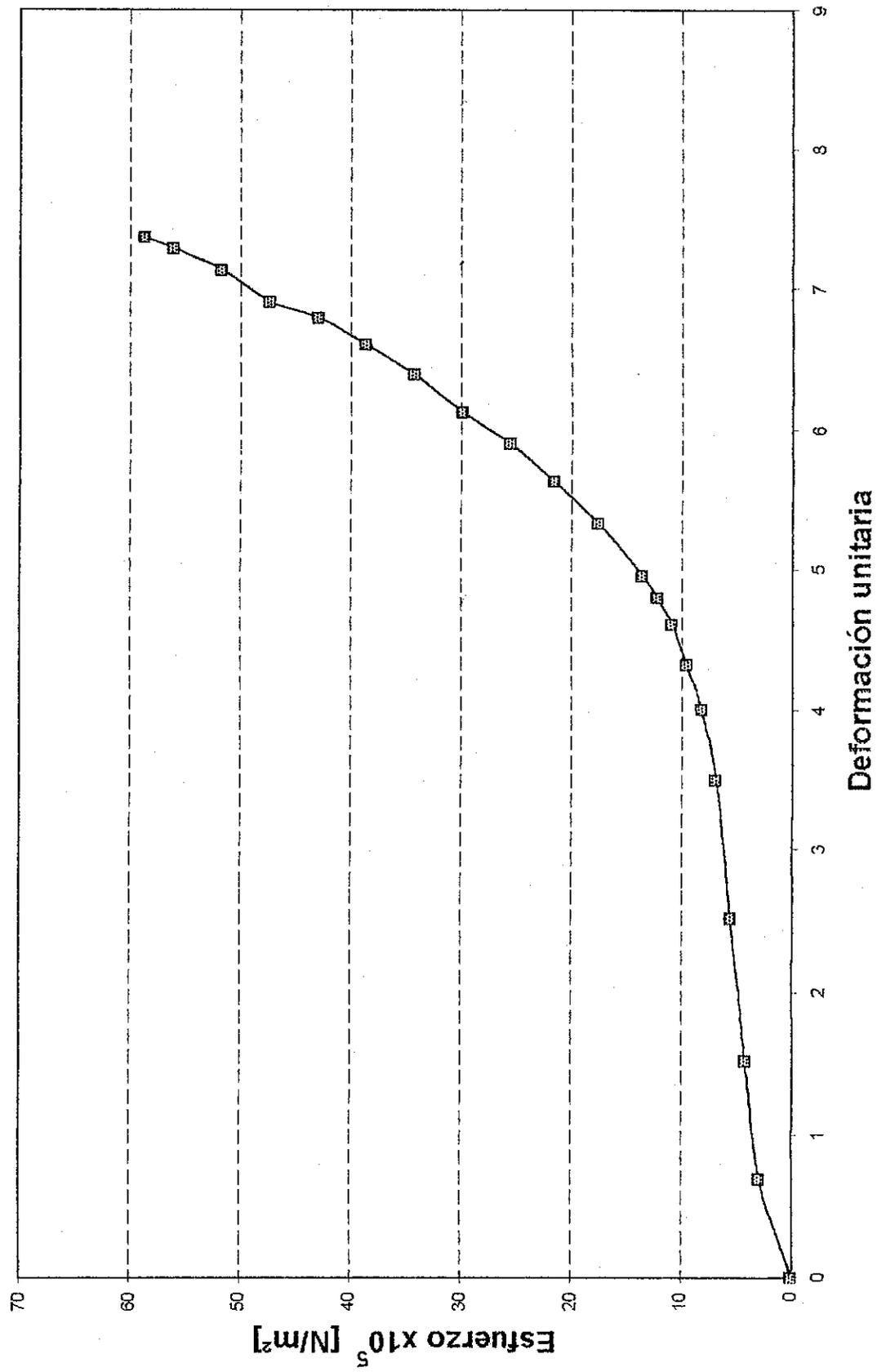


Figura 17. Gráfica del 315 % de acelerador

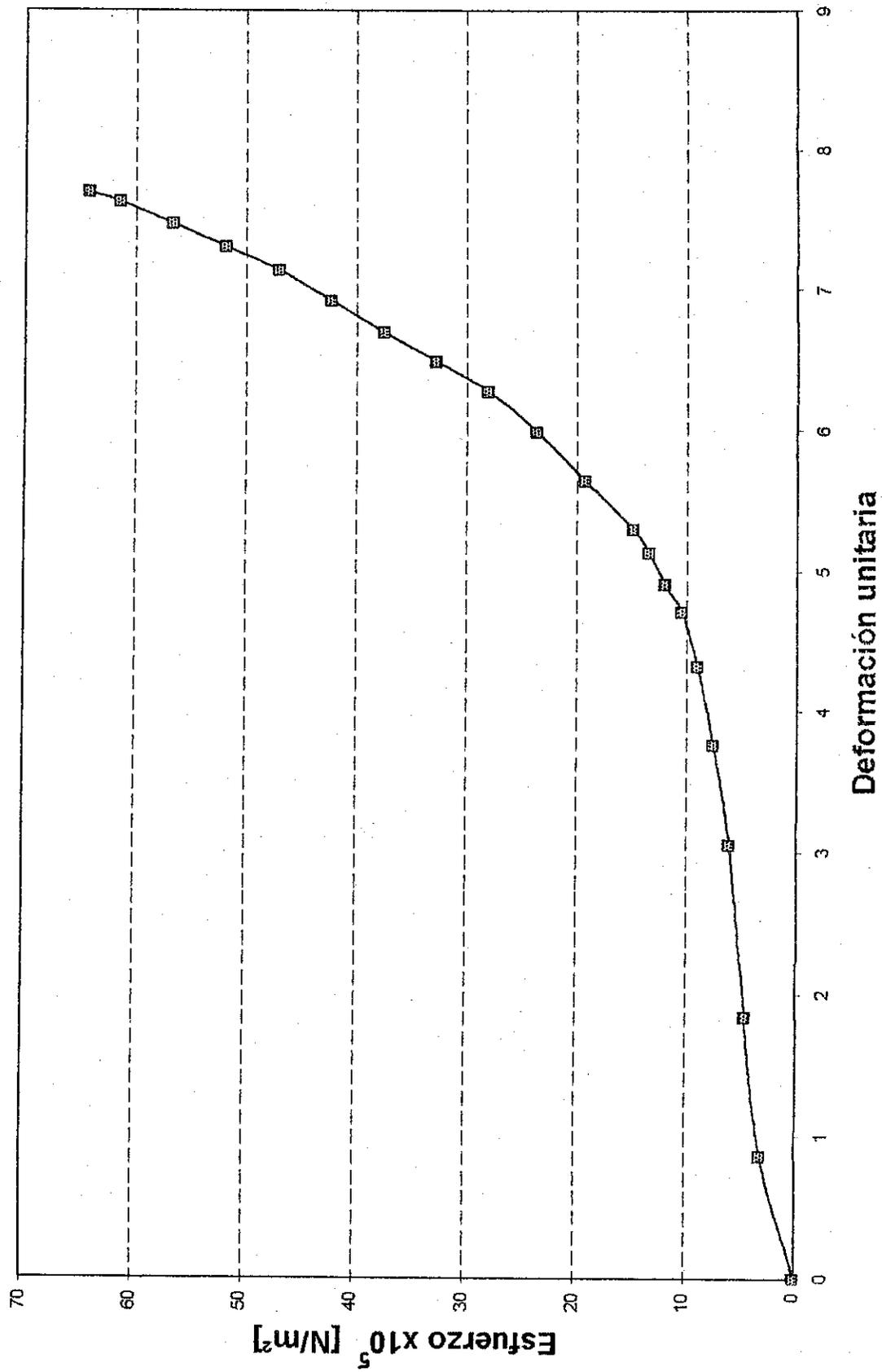


Figura 18. Gráfica del 0 % de agente vulcanizador

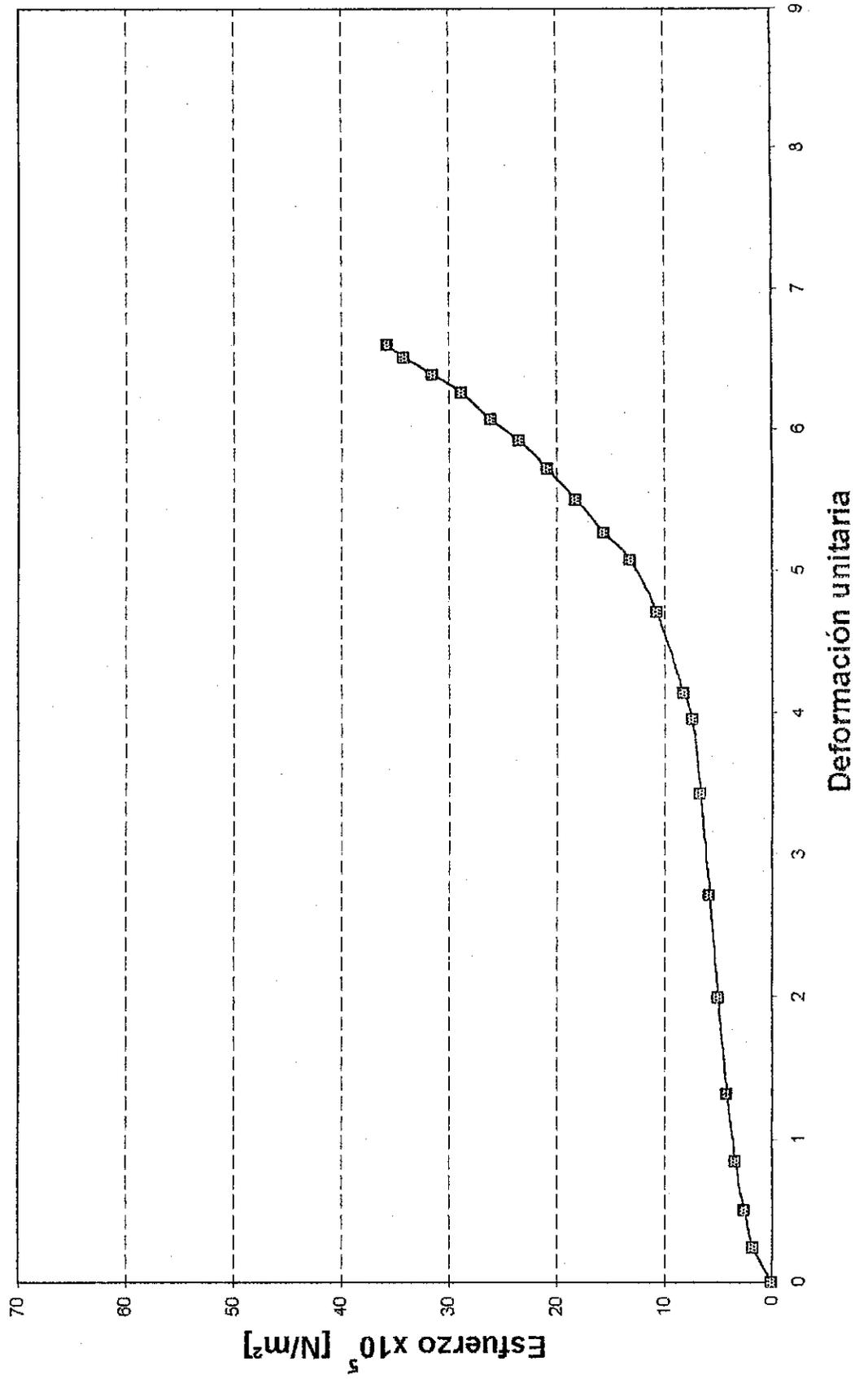


Figura 19. Gráfica del 158 % de agente vulcanizador

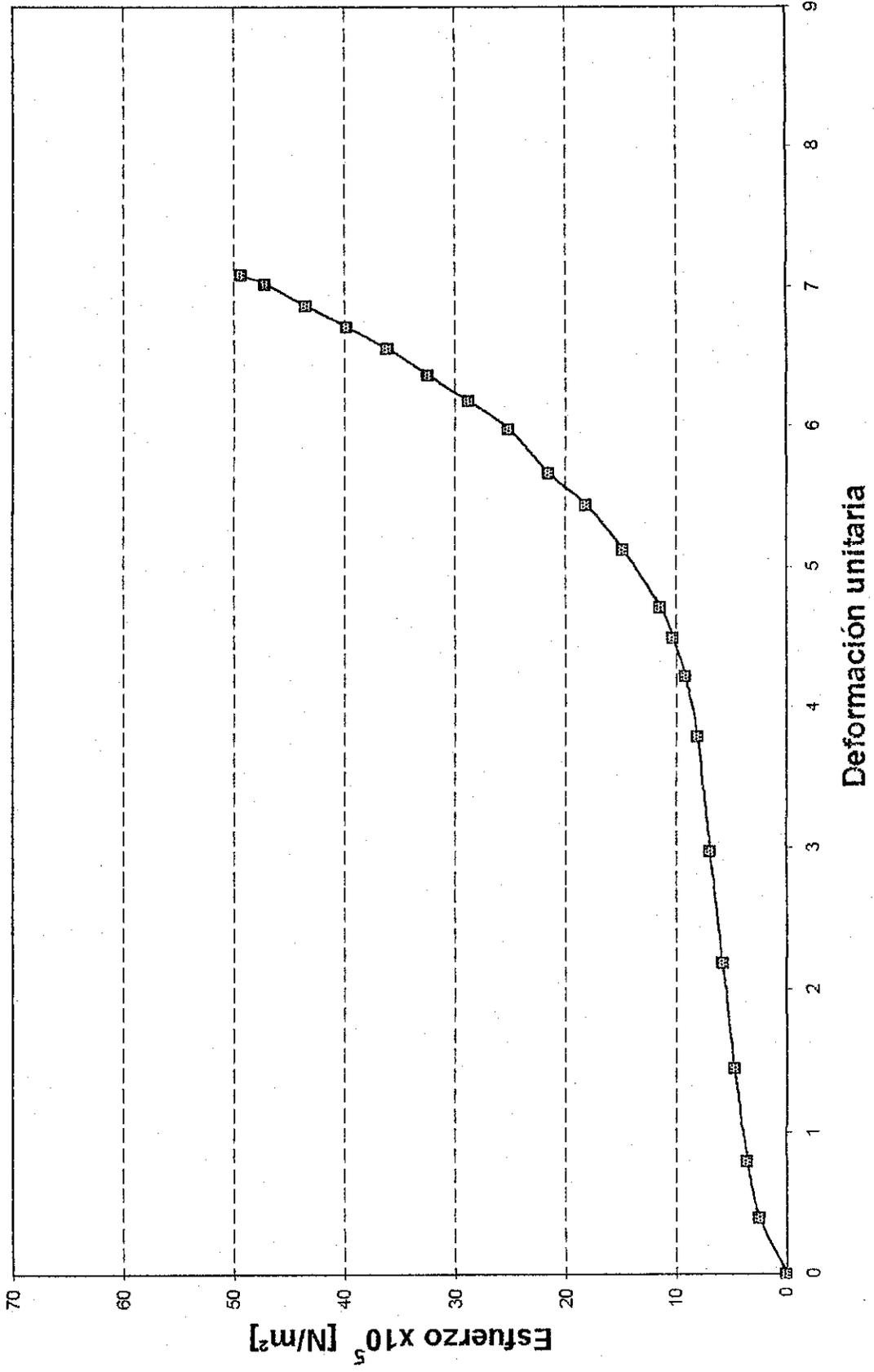


Figura 20. Gráfica del 315 % de agente vulcanizador

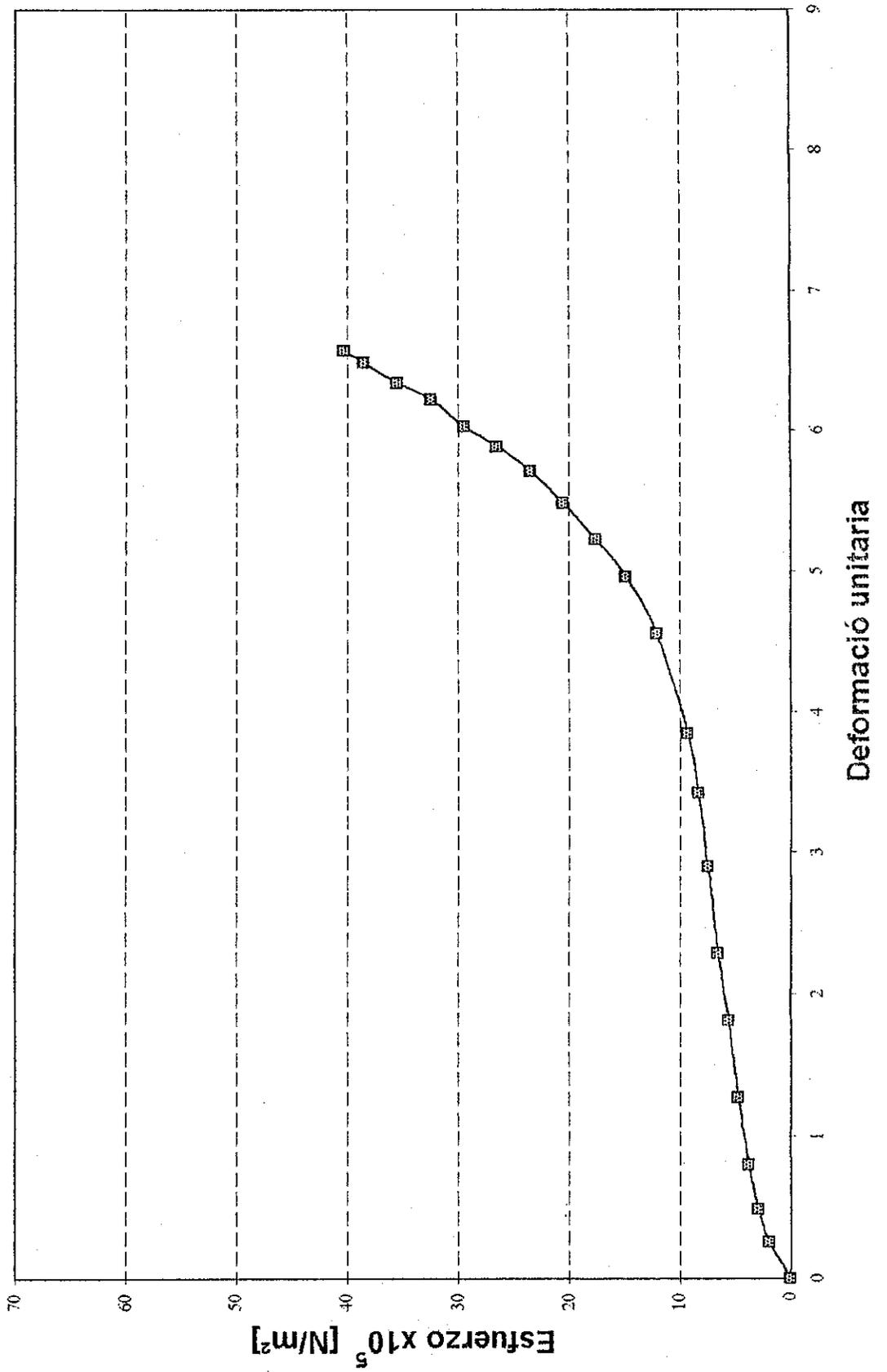


Figura 21. Gráfica del 0 % de donador de azufre

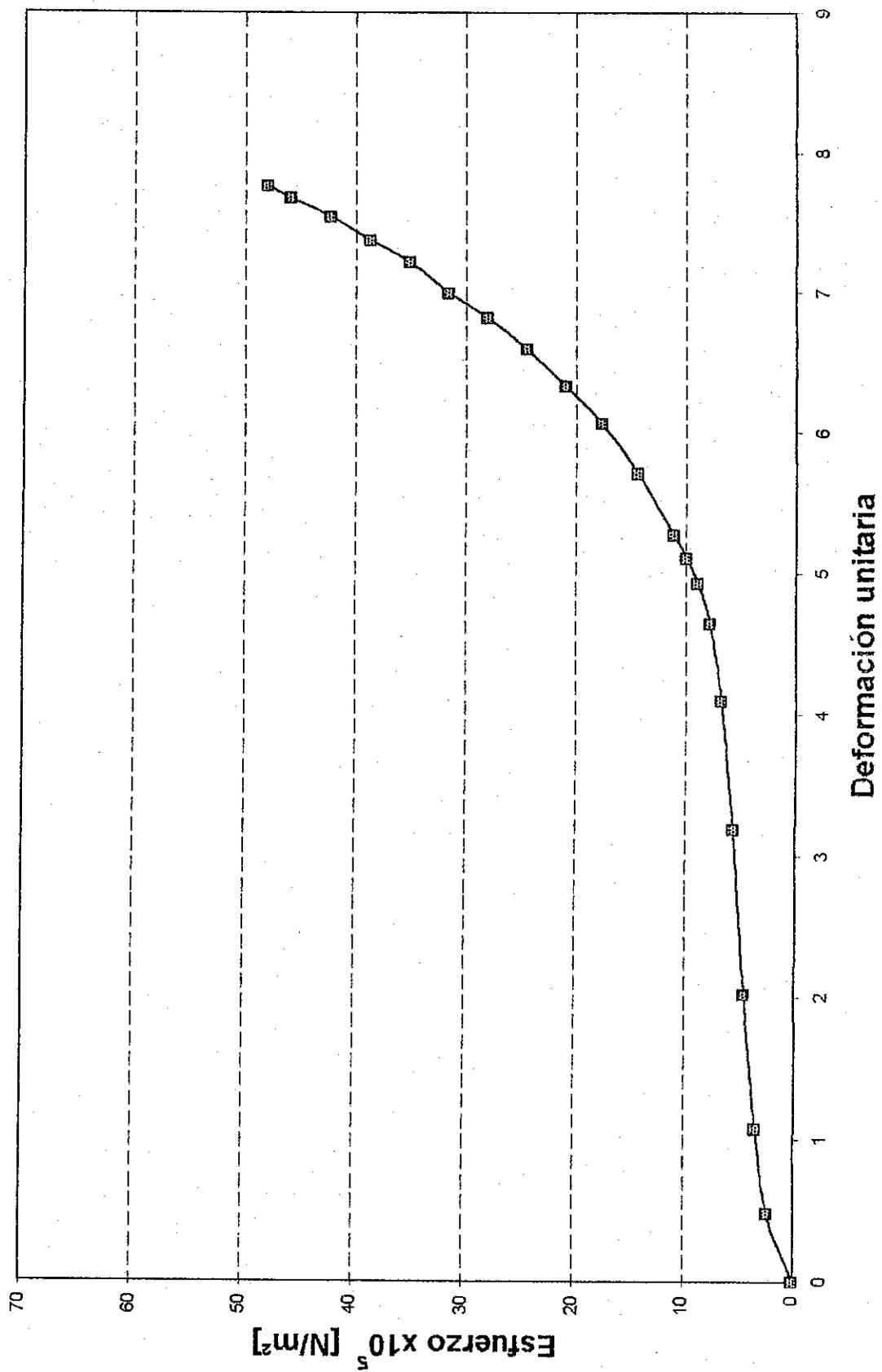


Figura 22. Gráfica del 158 % de donador de azufre

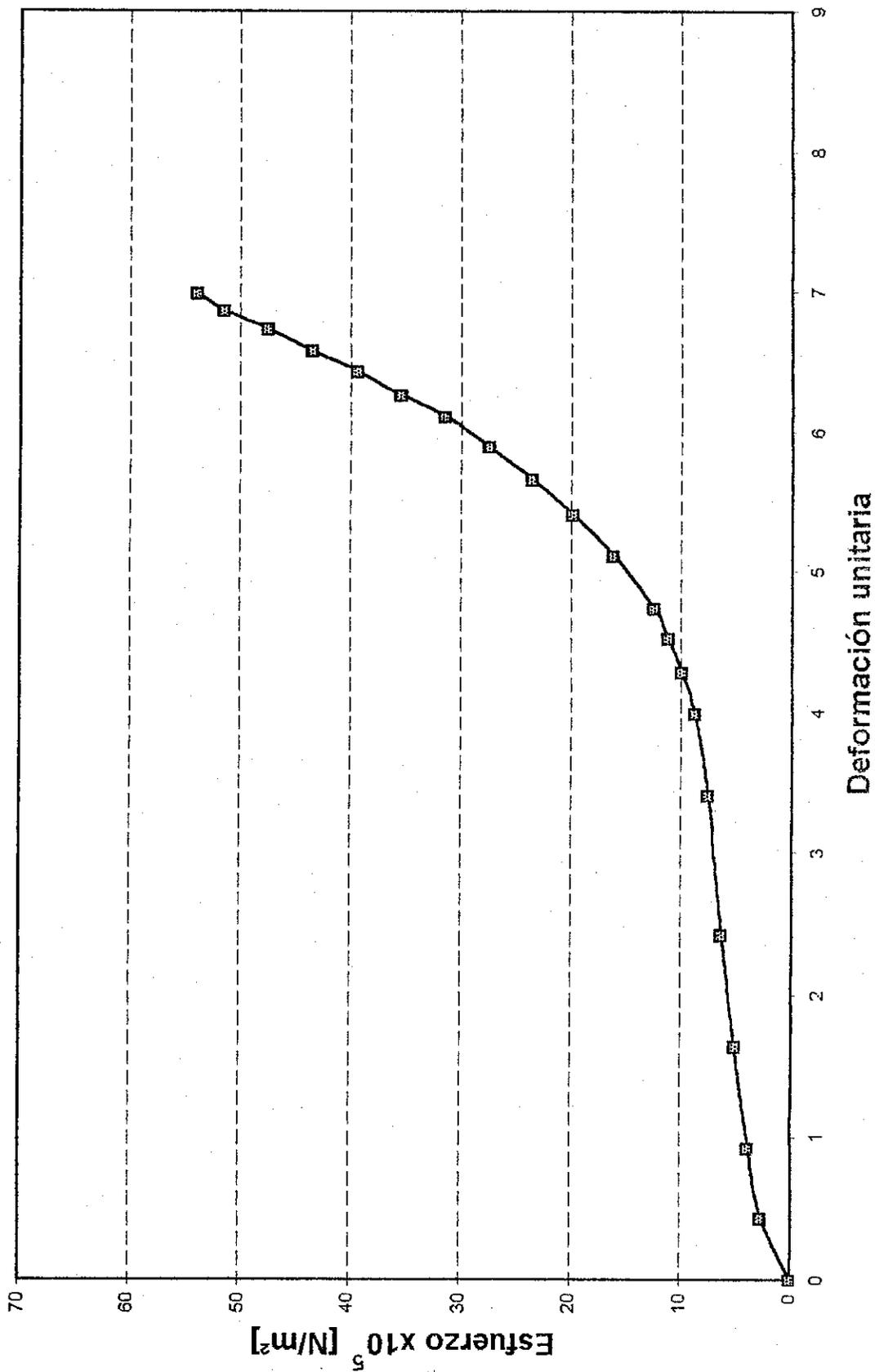


Figura 23. Gráfica del 315 % de donador de azufre

