

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



**ESTUDIO DE LAS RELACIONES ENTRE LA  
INDUSTRIA DEL BUTADIENO Y ESTIRENO,  
Y LAS INDUSTRIAS HULERA Y LLANTERA**

**TESIS PROFESIONAL**

**JAVIER LOPEZ GARCIA**

**INGENIERO QUIMICO**

**1978**

M.T. 257



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

CLAS Tesps 1978  
AGE H.t. ~~200~~ 254  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROG \_\_\_\_\_  
• \_\_\_\_\_

Ht 254



1978  
12 14 8

Jurado asignado originalmente  
según el tema.

Presidente: Prof. EDUARDO ROJO Y DE REGIL  
Vocal: Prof. ENRIQUE LEFF ZIMMERMAN  
Secretario: Prof. ROBERTO ANDRADE CRUZ  
1er. Suplente: Prof. ARTURO LOPEZ TORRES  
2do. Suplente: Prof. ALFONSO FRANYUTTI  
ALTAMIRANO

Sitio donde se desarrolló el  
tema:

"Seminario sobre la problemática de aplica-  
ción de la ciencia y la tecnología al pro-  
ceso de desarrollo del país".

Sustentante:



JAVIER LOPEZ GARCIA

Asesor del tema:



Dr. ENRIQUE LEFF ZIMMERMAN

"AL DECRETARSE LA LIBERTAD DE COMERCIO, LA DE IN  
DUSTRIA Y OTRAS FRANQUICIAS SE HACEN GRANDES CONCE  
SIONES A LOS EXTRANJEROS, SIN REFLEXIONAR ACASO LO  
IMPOSIBLE QUE ES QUE NUESTRA INDUSTRIA Y NUESTRAS  
ARTES COMPITAN CON LAS EXTRANJERAS EN RAZON DE LOS  
TRES SIGLOS DE ATRASO, DE MONOPOLIO Y DE SERVIDUM-  
BRE QUE PESARON SOBRE EL PUEBLO MEXICANO".

PONCIANO ARRIAGA (1857)

CON PROFUNDO CARIÑO, AMOR Y ADMIRACION  
A MIS PADRES:

MARIA CARIDAD GARCIA DE LOPEZ  
ROBERTO LOPEZ LOPEZ

A:

MARIA AZANZA GORDOA

A MIS HERMANOS:

ROBERTO  
JOSE ANTONIO  
GUILLERMO  
BERTA  
MARIA CARIDAD  
MARIA CONCEPCION  
MARIA GUADALUPE

CON ADMIRACION Y RESPETO  
A MIS COMPAÑEROS

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

A MIS PROFESORES,  
EN ESPECIAL A:

ENRIQUE LEFF ZIMMERMAN  
EDUARDO ROJO Y DE REGIL  
ROBERTO ANDRADE CRUZ  
ARTURO LOPEZ TORRES  
ALFONSO FRANYUTTI A.

A ANA MARIA GUADALUPE

## PROLOGO

Mi más profundo agradecimiento a las siguientes personas e instituciones, sin las cuales no se habría podido llevar a cabo esta tesis.

Al Ing. Reyes Medina Rendón (Gerencia de petroquímica, PEMEX); al Dr. Enrique Campos López, Dr. Jesús García Delgado y Lic. Marco-Antonio Velázquez (Centro de Investigación de Química Aplicada); al Ing. Max García Arceo (Comisión Nacional de Zonas Áridas); al Ing.-Nazareo Salinas Castillo (INMECAFE); al Ing. Armando Dolero (Hules-Mexicanos); al Ing. Miguel Calvo López (NEGROMEX); al Ing. Efrén -- Franco Díaz, señor Luis Muñoz y C.P. Francisco Gómez Milla (Secretaría de Comercio); al señor Armando Tornel Murillo, Ing. Guillermo -- Garza Benítez y al C.P. Alfredo Bermúdez A. (Compañía Hulera Tornel)

Esta tesis se desarrollo en el "Seminario sobre la problemática de aplicación de la ciencia y la tecnología al proceso de desarrollo del país", bajo la dirección del Dr. Enrique Leff Zimmerman.

## INDICE GENERAL

	Pagina
<b>CAPITULO UNO</b>	
INDUSTRIA DE LOS MONOMEROS BUTADIENO Y ESTIRENO.	1
<b>CAPITULO DOS</b>	
INDUSTRIA DEL HULE NATURAL Y SINTETICO	32
<b>CAPITULO TRES</b>	
INDUSTRIA LLANERA	68
<b>CAPITULO CUATRO</b>	
ANALISIS HISTORICO	91
<b>CAPITULO CINCO</b>	
ANALISIS TECNOLOGICO	116
<b>CAPITULO SEIS</b>	
COSTOS DE PRODUCCION	131
<b>CAPITULO SIETE</b>	
INTERRELACIONES INDUSTRIALES	147

## INTRODUCCION

En esta tesis se pretende analizar las relaciones que existen entre la industria de los petroquímicos básicos butadieno y estireno, la industria del hule sintético que es un petroquímico secundario, la industria del hule natural y la industria llantera.

Se escogieron estas ramas productivas de la industria química, por estar intimamente relacionados sus productos y por presentar -- una estructura vertical que culmina con la fabricación del producto terminado, llantas.

Petroleos Mexicanos, una empresa estatal, controla por ley la producción de butadieno y estireno; por otra parte esta misma empresa controla gran parte de la producción de hule sintético por ser el principal accionista de Hules Mexicanos, una de las dos empresas que fabrican este polímero. La industria del hule natural en México esta manejada por el Gobierno Federal por medio de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Por otro lado la industria --- llantera se caracteriza por estar formada por empresas transnacionales de origen norteamericano.

Por lo anterior expuesto, esta estructura vertical permite analizar las relaciones que existen entre una rama productiva estatal y una rama productiva formada por empresas de origen transnacional. En esta tesis se trataran de estudiar los problemas que pueden existir con una estructura de este tipo, desde el punto de vista de tecnología y producción. Se analizará la tecnología empleada por las diferentes ramas productivas, los problemas que existen en la implantación de tecnologías extranjeras, el tamaño de mercado, la producción y consumo, la dependencia de importaciones, los costos de producción y utilidades.

En los tres primeros capítulos se hace un análisis de las propiedades y métodos de producción de los artículos de las diferentes ramas productivas, profundizando en la tecnología de los procesos empleados por la industria nacional. Al final de cada capítulo existe una amplia bibliografía en la que se podrá profundizar en los detalles.

Un análisis histórico se presenta en el capítulo cuatro; en este capítulo se describe la formación y la desaparición, en algunos de los casos, de las industrias analizadas. En el capítulo cinco se abordan los problemas que existen en la implantación de tecnologías extranjeras y la consiguiente formación de monopolios u oligopolios.

En el capítulo seis se describe un análisis de los costos de producción, ventas y ganancias de las industrias; HUMEX, NEGROMEX y Goodyear-Oxo. También en este capítulo se presenta un proyecto para la producción de hule natural a partir de guayule; este proyecto tiene una gran viabilidad.

En el capítulo siete se concluye este estudio con las relaciones que existen entre las ramas productivas analizadas, tomando en cuenta; materias primas, producción y consumo, tecnología empleada, precios, costos, ventas y ganancias.

## CAPITULO UNO

### INDUSTRIA DE LOS MONOMEROS BUTADIENO Y ESTIRENO

#### MONOMERO BUTADIENO

##### Introducción.

- I.1. Algunas propiedades.
- I.2. Métodos de producción.
  - I.2.a. A partir de etanol.
  - I.2.b. Deshidrogenación de butilenos.
  - I.2.c. A partir de corriente de  $C_4$  de plantas de etileno.
  - I.2.d. Por oxideshidrogenación de butenos.
  - I.2.e. Por deshidrogenación de butano.
- I.3. Proceso Houdry.
  - I.3.a. Alimentación.
  - I.3.b. Reacción Química.
  - I.3.c. Catalizador.
  - I.3.d. Descripción del proceso.
  - I.3.e. Purificación de butadieno.
  - I.3.f. Manejo de butadieno.
- I.4. Localización y capacidad de la planta.
- I.5. Producción y consumo.
- I.6. Plantas en proyecto.
- I.7. Precio por tonelada.

#### MONOMERO ESTIRENO

##### Introducción

- I.8. Algunas propiedades.
- I.9. Métodos de producción.
  - I.9.a. Proceso Doww Chem. Co.
  - I.9.b. Proceso Monsanto-Lammus.

- I.9.c. Proceso Union Carbide-Cosden Bagder.
- I.9.d. Proceso Alkar, Iniversal Oil Products.
- I.10. Proceso Alkar.
  - I.10.a. Alimentación.
  - I.10.b. Reacción química.
  - I.10.c. Catalizador.
  - I.10.d. Descripción del proceso.
  - I.10.e. Purificación de estireno.
  - I.10.f. Mamejo de estireno.
- I.11. Localización y capacidad de la planta.
- I.12. Producción y consumo.
- I.13. Planta en proyecto.
- I.14. Precio por tonelada.

## CAPITULO UNO

### INDUSTRIA DE LOS MONOMEROS BUTADIENO Y ESTIRENO

#### MONOMERO BUTADIENO.

##### Introducción.

El butadieno fue obtenido por primera vez en el laboratorio por Eugene Coventou en el año de 1863, por la pirólisis del alcohol amílico; poco después en 1886 fue obtenido como uno de los compuestos de los productos del craqueo del petróleo por Armstrong y Miller (1).

A pesar de estos métodos y otros que fueron descritos antes de 1932, no fue hasta entonces cuando llegó a producirse butadieno en una planta piloto en los Estados Unidos. Este producto se preparó partiendo de acetileno, el cual se había estado fabricando por el proceso de arco eléctrico; el proceso no fue económico, por lo que el butadieno se produjo partiendo de butenos (2) en forma comercialmente aprovechable hasta 1939.

Durante la Segunda Guerra Mundial, en el programa de emergencia del gobierno de los Estados Unidos se desarrollaron las bases de casi todos los procesos comercialmente usados para la producción de butadieno (3); fue en este tiempo cuando se desarrollaron los procesos de deshidrogenación de butano, deshidrogenación de butenos y a partir de alcohol. Debido a los requerimientos de butilenos para la gasolina de avión, durante la Segunda Guerra Mundial cerca del 50% del butadieno producido de 1940-45 en los Estados Unidos fue obtenido a partir de alcohol.

La producción de butadieno fue estratégica durante la guerra por ser base en la manufactura de hule sintético, el cual vino a sustituir al hule natural, cuyas plantaciones estaban ocupadas por las fuerzas -

japonesas. La producción de butadieno sigue siendo de gran importancia por ser éste base del hule sintético, siendo uno de sus usos la fabricación de llantas de automóvil.

Dándose cuenta de la importancia de este producto y debido a las crecientes importaciones, el gobierno de México por medio de PEMEX -- inició la producción de butadieno en el año de 1975.

### I.1. Algunas propiedades.

El butadieno a que haremos referencia en toda esta exposición será el 1,3 butadieno ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ), el cual es el único que tiene importancia técnica, pues es el que se usa comercialmente.

Por ser un hidrocarburo no saturado, el butadieno tiene una gran reactividad, presenta las reacciones químicas características de los hidrocarburos con dobles enlaces conjugados. Presenta en este caso - la reacción más importante que es la de polimerización.

Es un gas incoloro en estado normal, insoluble en agua pero soluble en alcohol etílico, benceno y éter. En altas concentraciones produce efecto narcotizante al inhalarlo, ejerce un efecto irritante sobre la piel, ojos y aparato respiratorio. El butadieno presenta una exposición peligrosa al fuego y a la explosión a altas presiones y altas temperaturas.

### I.2. Métodos de producción.

Los métodos de producción comercial a partir de 1940-45 han sido estudiados y perfeccionados. En seguida se presentan todos los métodos comerciales para la producción de butadieno.

#### I.2.a. A partir de etanol.

Este proceso sólo tuvo uso durante la guerra debido a que los de

rivados del petroleo, tales como butano y principalmente butilenos, -- eran necesarios para la producción de gasolina de alto índice de octano, por lo que se usó etanol como materia prima para la producción de butadieno. Después de la guerra este proceso entró en des-uso debido al alto costo del etanol (4).

Existen dos métodos industriales para la fabricación de butadieno a partir de alcohol etílico; el procedimiento de Lebedev, en el que la transformación se realiza en una sola fase por tratamiento de alcohol con un catalizador apropiado a 385-390°C., y el procedimiento iniciado por Ostromislensky y desarrollado con gran extensión por la firma Carbide and Carbon Chemical Corp. Este último consta de dos fases: Oxidación parcial de etanol a acetaldehído y transformación catalítica de una mezcla de etanol-acetaldehído a butadieno. Para mayor información de estos procesos ver la referencia (5).

#### I.2.b. Deshidrogenación de butilenos.

Este proceso desarrollado por la Standard Oil Development Co., jugó un papel muy importante en el programa del butadieno durante la guerra. Este proceso usa como alimentación fluido del craqueo catalítico del petroleo rico en C<sub>4</sub> olefinas, incluyendo gran cantidad de butilenos para el primer paso de la deshidrogenación a butadieno.

El reactor usado para este proceso es un reactor de lecho fluidizado, es un reactor de tipo vertical que provee el flujo de catalizador por gravedad. El equipo tiene recipiente de reacción y un sistema para separar el catalizador en polvo de sus impurezas, esto último se hace con oxígeno a efecto de revivificación.

Los cortes de C<sub>4</sub> del craqueo catalítico del gas de petroleo varían considerablemente con las condiciones del craqueo y especialmente

con la temperatura. En la tabla I.1.1 se muestra corte normal de  $C_4$  rico en olefinas.

TABLA I.1.1

COMPONENTE	PORCIENTO EN MOL.
Isobutano	26.0-38.5
nButano	6.5-9.5
Isobutileno	13.0-19.0
Buteno 1	9.0-12.0
Buteno 2	27.0-36.0

Fuente: Whitby G. S. Synthetic Rubber.  
Capítulo 3, pag. 66.

En general la formación de  $C_4$  del craqueo catalítico puede ser procesada todavía más para recobrar los n-butenos en concentración suficiente para la manufactura de butadieno. El primer paso es remover el isobutileno por extracción con ácido sulfúrico, después se procesa el corte  $C_4$  para separar los n-butenos de los butanos, este proceso se lleva a cabo por destilación extractiva con acetona acuosa o furfural acuoso.

La deshidrogenación del buteno es endotérmica; la gran cantidad de calor necesario (22500 cal/gramo mol de buteno convertido a butadieno) fue un factor importante para el diseño del reactor. El uso de vapor como diluyente es con el fin de abatir la presión parcial del n-buteno lo cual trae ciertas ventajas. Por ejemplo la temperatura necesaria para el reactor puede ser mantenida y el calor para la reacción suministrado por la mezcla de n-buteno y vapor sobrecalentado.

Además el vapor diluyente puede ser separado de los gases por enfriamiento, por otra parte la reacción vapor gas evita que el catalizador se cubra de carbón.

En el proceso de la Standard Oil Development el buteno alimentado se precalienta a  $593^{\circ}\text{C}$ ., rápida y completamente se mezcla en la parte superior del reactor con vapor precalentado a  $704^{\circ}\text{C}$ .. El mezclado es perfecto el mezclador es de tipo jet diseñado para dar un mínimo de torbellino de gas en el reactor. Los productos del reactor se apagan rápidamente con agua hasta alcanzar una temperatura de  $583^{\circ}\text{C}$ .. por inyección directa en la corriente de vapor. El reactor tiene unas valvulas para suspender la alimentación de buteno, para su requerida regeneración del catalizador. En seguida del enfriamiento el efluente se comprime y pasa a un sistema de torres de absorción y esta bilización para dar butadieno crudo. Este butadieno se purifica por tres métodos convencionales que también se usan en el proceso a partir de butano. Este proceso se explica en forma más detallada en la referencia (6).

#### I.2.c. A partir de corriente de $\text{C}_4$ de plantas de etileno.

En este proceso el contenido de butadieno en las corrientes de  $\text{C}_4$ , de naftas de plantas de desintegración productoras de etileno, se remueve por medio de una destilación extractiva. Normalmente este tipo de corrientes contiene de 25-50% de butadieno.

Este proceso ha tenido mucha demanda ultimamente debido a la gran cantidad de etileno en el mundo (7). En Europa y Japón este proceso es muy usado; la disponibilidad en los últimos años de material de extracción ha permitido no instalar alguna capacidad nueva de butadieno; ésto ha hecho que Europa tenga excedentes y se prevé que pa

ra el futuro también los tendrá, debido a que se espera un continuo - incremento en la capacidad de etileno (8).

#### I.2.d. Por Oxideshidrogenación de butenos.

El proceso comercial, usando butano o butenos como alimentación tiene un rendimiento restringido por la termodinámica de las reacciones de deshidrogenación. Un corto tiempo de contacto y una reducción en la presión parcial de los hidrocarburos por medio de vapor, son necesarios para desplazar la reacción hacia un lado. Además de que la reacción endotérmica produce problemas técnicos sustanciales.

Recientemente, una atención considerable ha sido prestada para la química de los métodos de deshidrogenación. La oxideshidrogenación de n-butenos es una de tales técnicas, esta reacción es exotérmica y de alto rendimiento por paso. Este proceso de oxideshidrogenación ha sido desarrollado por la B. P. Chemical Process. El catalizador usado está basado sobre óxidos de antimonio y estaño.

El proceso se ha desarrollado en una planta piloto, involucra una etapa de reacción, seguida de varias etapas de recuperación y -- por último una extracción por medio de un solvente del butadieno. - El proceso se puede usar con una alimentación con una mezcla de n-butenos obtenida de una unidad de craqueo (después de remover isobutano y butadieno), también se puede adaptar para su uso en combinación con una unidad Houdry en base a butano, donde las condiciones han sido ajustadas para dar el máximo de rendimiento de butenos.

Este proceso tiene la ventaja de un alto rendimiento (60%), costos de capital favorables por los bajos requerimientos de vapor y relativamente alta concentración de butadieno producido a la salida -- del reactor. El proceso puede encontrar aplicación en circunstan---

cias donde hay insuficiencia de butadieno del craqueo de naftas, o -- como un paso de las plantas de Houdry. Este proceso se puede ver con más detalle (8,9).

En estos momentos no existe ninguna instalación para la producción de butadieno a partir de éste proceso, esto quizás debido a que no hay escasez de naftas, por lo que todavía no prueba su eficiencia comercial.

#### I.2.e. Por deshidrogenación de butano.

Este proceso desarrollado por Houdry Division of Air Products--- and Chemical, Inc., es el que usa la planta de butadieno de la Refinería de Cd. Madero, por lo que se dará completamente a continuación.

#### I.3. Proceso Houdry.

Este proceso usado en México, es también el proceso más común -- en los Estados Unidos. Existen 16 unidades en operación o construcción en la Unión Americana, con una capacidad de producción de butadieno mayor de 700 000 toneladas por año. Este proceso presenta la ventaja de consumir butano o mezclas de butano y butenos obtenidas -- del craqueo del petróleo. Este proceso también se usa para la producción de butenos (10).

#### I.3.a. Alimentación.

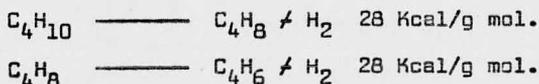
Este proceso puede usar como alimentación butano o mezclas de butanos y butilenos para su deshidrogenación catalítica a butadieno.

La planta de butadieno de la Refinería de Cd. Madero, se alimenta de la planta preparadora de carga para butadieno ubicada en la misma refinería. La cual en la última torre produce por el domo propano y propileno, y por los fondos butano y butilenos. Esta corriente se --

almacena dentro de un acumulador junto con el reciclado de butano-butilenos del proceso Houdry lista para ser alimentada (11).

### I.3.b. Reacción Química.

La reacción de deshidrogenación de n-butano a butadieno es muy - endotérmica:



Debe existir un corto tiempo de contacto además de una reducción en la presión parcial para que la reacción se desplace hacia un lado.

El proceso de deshidrogenación Houdry en cama fija es un proceso "cíclico adiabático", esto es, las condiciones de operación se escogen de tal manera que el calor requerido para la reacción durante el paso de los hidrocarburos, es equivalente al calor suministrado por la combustión de coke depositado durante la regeneración. El calor almacenado durante la regeneración del catalizador se descarga a los reactivos durante el período de deshidrogenación, decrecimientos de la temperatura deseable de operación, se controlan con ajustes en el flujo de reactantes y en la temperatura del aire, además por el uso en el ciclo de regeneración de una cantidad de aire, más grande que la requerida para la combustión. Diferencias de temperatura en una cama de gran tamaño debido al calor perdido por las partes adyacentes a la pared, se deben a ligeras variaciones en la distribución del reactivo y desigualdades en la actividad y capacidad calorífica del catalizador.

En este proceso, la deshidrogenación se conduce en reactores caracterizados por su simplicidad de diseño y construcción. Cada reactor es una coraza de acero forrada de mosaicos de cerámica. El uso -

de acero en la construcción se reduce al mínimo, debido a que condiciones alternativas de oxidación y reducción a elevadas temperaturas tienden a producir un óxido en la superficie de éste material; ésto a su vez promueve la reacción de craqueo y la formación de coke (12).

### I.3.c. Catalizador.

El catalizador que se emplea es en forma de pastillas cilíndricas de alúmina activa impregnada con óxido de cromo; el catalizador se regenera en los reactores quemando el coke depositado con aire precalentado. Una vida normal de catalizador es de 18-24 meses aunque se ha encontrado vida en exceso de 4 años (10).

La capacidad calorífica deseada para el catalizador se obtiene mezclando un material catalítico inerte de alta capacidad calorífica con una pastilla de catalizador activo. El inerte actúa como un medio de almacenamiento de calor, absorbiendo el calor liberado por la combustión de coke depositado durante el ciclo de regeneración, con un consecuente aumento de la temperatura de la cama; después este calor almacenado se descarga en la corriente de hidrocarburos durante el período de deshidrogenación (12). Este tipo de catalizador impide un calentamiento directo para proporcionar el calor para la reacción endotérmica.

### I.3.d. Descripción del proceso.

El butadieno se produce por el paso de una alimentación fresca consistente principalmente de n-butano, y de butano-buteno recirculado de la unidad de recuperación de butadieno sobre un catalizador del tipo cromo-alúmina.

Refiriéndonos al diagrama de flujo de la fig. I.1 (10,12), el n-butano fresco alimentado y el butano-buteno recirculado de la planta de recuperación de butadieno, son bombeados de un tanque acumulador a un calentador de carga, donde la temperatura se eleva aproximadamente  $620^{\circ}\text{C}$ . antes de entrar al reactor. En el reactor ésta corriente se pone en contacto con el catalizador de la cama fija. Los efluentes calientes del reactor son apagados (cuenchados) por contacto directo con la circulación de aceite apagado (cuencheo). De la torre de cuencheo (apagado) pasan a la primera etapa de las cuatro etapas de compresión. De los compresores la corriente pasa a un convencional obsorvedor y agotador para la recuperación de  $\text{C}_4$  y materiales más pesados, por el domo de la torre de absorción se obtiene fuel gas. El afluente del agotador pasa a una torre estabilizadora que separa fuel gas de los  $\text{C}_4$  y materiales más pesados, de esta torre estabilizadora la corriente pasa a una unidad de recuperación y purificación de de butadieno, de esta unidad se recircula el butano-buteno y se obtiene el butadieno de 98% o más de pureza.

El período de paso de cada reactor es seguida de una purga o vaccío para remover los hidrocarburos, después de la cual la regeneración se lleva a cabo con aire precalentado a  $620^{\circ}\text{C}$ . en el calentador por combustión directa del combustible en la corriente de aire. Al final del período de regeneración el reactor se evacua por medio de un eyector de vapor previo al siguiente período de paso. De esa manera, un grupo de tres reactores, un reactor recibe alimentación de hidrocarburos mientras que el otro recibe aire de regeneración y el tercero sufre cambio de válvulas y operaciones de purga.

Las más importantes variables del proceso se muestran en la tabla I.3.1.

Refiriéndonos al diagrama de flujo de la fig. I.1 (10,12), el n-butano fresco alimentado y el butano-buteno recirculado de la planta de recuperación de butadieno, son bombeados de un tanque acumulador a un calentador de carga, donde la temperatura se eleva aproximadamente  $620^{\circ}\text{C}$ . antes de entrar al reactor. En el reactor ésta corriente se pone en contacto con el catalizador de la cama fija. Los efluentes calientes del reactor son apagados (cuenchados) por contacto directo con la circulación de aceite apagado (cuencheo). De la torre de cuencheo (apagado) pasan a la primera etapa de las cuatro etapas de compresión. De los compresores la corriente pasa a un convencional observedor y agotador para la recuperación de  $\text{C}_4$  y materiales más pesados, por el domo de la torre de absorción se obtiene fuel gas. El afluente del agotador pasa a una torre estabilizadora que separa fuel gas de los  $\text{C}_4$  y materiales más pesados, de esta torre estabilizadora la corriente pasa a una unidad de recuperación y purificación de butadieno, de esta unidad se recircula el butano-buteno y se obtiene el butadieno de 98% o más de pureza.

El período de paso de cada reactor es seguida de una purga o vacío para remover los hidrocarburos, después de la cual la regeneración se lleva a cabo con aire precalentado a  $620^{\circ}\text{C}$ . en el calentador por combustión directa del combustible en la corriente de aire. Al final del período de regeneración el reactor se evacua por medio de un eyector de vapor previo al siguiente período de paso. De esa manera, un grupo de tres reactores, un reactor recibe alimentación de hidrocarburos mientras que el otro recibe aire de regeneración y el tercero sufre cambio de válvulas y operaciones de purga.

Las más importantes variables del proceso se muestran en la tabla I.3.1.

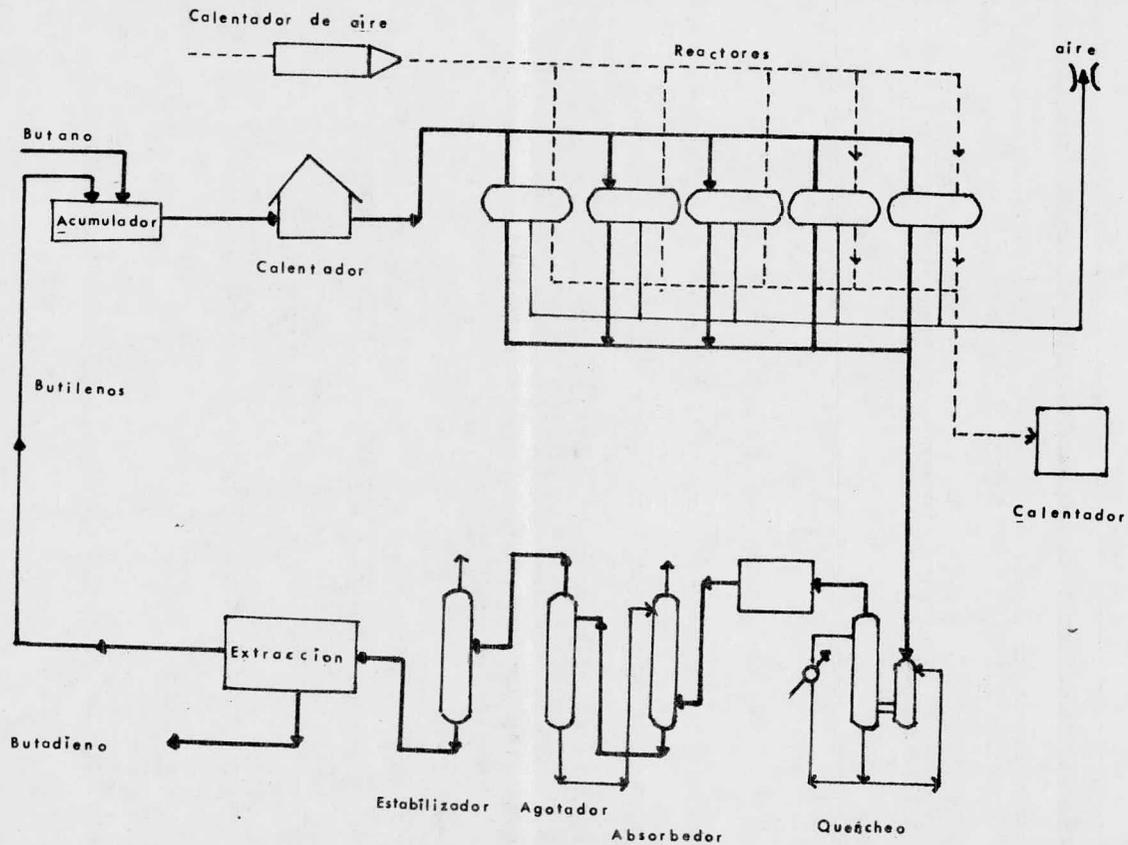


Fig. I.1. Proceso Houdry para la Producción de Butadieno

TABLA I.3.1.

CONDICIONES DE PROCESO, PARA EL PROCESO DE DESHIDROGENACION HOUDRY

Temperatura	540-650 <sup>o</sup> C.
Presión	127 mm. de Hg. absoluta o mayor
Espacio ve- locidad	1 a 3 volúmenes de carga/volu-- men de cat. (Hr.)
Tiempo	5 a 15 min.

Fuente: Hydrocarbon Processing, 50 (11); 136 (1971)

El rendimiento típico para la deshidrogenación de n-buteno a butadieno se muestra en la tabla I.3.2.

I.3.e. Purificación de butadieno.

El fraccionamiento es incapaz de separar al butadieno de las impurezas que trae de la reacción, este se puede ver en la tabla I.3.2. la relativa cantidad de estos hidrocarburos presentes en el butadieno crudo depende principalmente del tiempo y de la temperatura de los primeros pasos de conversión de los hidrocarburos primarios. Los productos del craqueo térmico y de la deshidrogenación consisten principalmente en componentes insaturados con predominio de n-butano, n-buteno y butadieno. Los dienos no conjugados y acetilenos son compuestos de menor importancia excepto si el craqueo se lleva a temperatura arriba de 730<sup>o</sup>C. El butadieno obtenido tiene una pureza de 98%. Las especificaciones de la industria para la polimerización de 1,3 butadieno se dan en la tabla I.3.3.

Existen varios métodos de purificación, estos son: a) absorción selectiva con solución (13); b) Destilación extractiva con furfural (14); c) Destilación extractiva con acetonitrilo, éste es el método usado por PEMEX en su planta de butadieno de Cd. Madero (15). Dife--

TABLA I.3.2.

PRODUCCION DE BUTADIENO

MATERIAL	ALIMENTACION FRESCA (% en P)	RECICLADO (% en P)	ALIMENTACION TOTAL (% en P)	PRODUCTO DEL REAC TOR (% en P)	RENDIMIENTO ULTIMO DE ALIMENTACION DE BUTANO FRESCO (% en P)
Hidrógeno	---	---	---	1.9	10.1
Metano	---	---	---	1.0	5.3
C <sub>2</sub>	---	---	---	1.1	5.9
C <sub>3</sub>	---	---	---	1.1	5.9
Isobutano	0.5	---	---	---	---
Isobuteno	---	---	---	---	---
n-Butenos	---	41.4	33.6	33.6	---
n-Butano	99.5	57.9	65.8	47.0	---
Butadieno	---	0.7	0.6	11.1	55.8
C <sub>5</sub> <sup>+</sup>	---	---	---	0.5	2.7
Coke	---	---	---	2.7	14.3
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: Hydrocarbon Processing/Petroleum Refiner, 32 (9); 130-34 (1953).

rentes métodos de análisis para el monómero de butadieno se dan en --  
(16).

TABLA I.3.3.

ESPECIFICACIONES DE LA INDUSTRIA PARA LA POLIMERIZACION DE BUTADIENO

ESPECIFICACION	LIMITE
Muestreo de contenido	Debe ser muestreado en fase líquida
Apariencia	Clara y libre de impurezas del transp.
Dieno conjugado	98% (en peso) mínimo
Peróxidos	10 p.p.m. como peróxido de hidrógeno
Compuestos carbonilos	100 p.p.m. como acetaldehido
Acetileno	0.1% como vinil acetileno
Asufre	100 p.p.m. como ac. sulfídrico
Dímero de butadieno	0.2% máximo
Residuos no volátiles	0.1% máximo
P-terbutil catecol (inhibidor)	10-15 p.p.m.
Oxígeno introducido - durante la carga dur	0.3% (en volumen) máximo

Fuente: Whitby G.S. Synthetic Rubber. Cap. 3, pag. 78.

I.3.f. Manejo de Butadieno.

Durante el almacenamiento, transportación y proceso en plantas - el butadieno sufre principalmente dos reacciones independientes: a) - Dimerización a 4 vinil 1 ciclohexano y b) Polimerización catalizada - por peróxidos para dar materiales plásticos de alto peso molecular. - La primera reacción es bimolecular, homogénea y no es afectada por pe róxidos, superficies de acero y antioxidantes. La segunda reacción\_

procede a una velocidad directamente proporcional a la raíz cuadrada de la concentración de peróxido. A temperatura ordinaria en almacenamiento y transportación, los peróxidos se forman como un resultado del contacto del butadieno con el aire. La presencia de antioxidantes fenólicos es necesaria para prevenir la acumulación de peróxidos.

Esencialmente para el manejo y transporte de butadieno en carros tanque o pipas y para su almacenamiento se debe cuidar que exista una mínima cantidad permisible de oxígeno, se debe de añadir un antioxidante, p-terbutil catecol es el más usado comercialmente. También se añade un anticongelante para que el agua que traiga el butadieno no interfiera en las válvulas durante su manejo (6).

#### I.4. Localización y capacidad de la planta.

La planta está localizada en el complejo petroquímico de la Refinería de Cd. Madero Tamps. Inició su operación en el año de 1975, el costo de la planta, incluyendo la preparadora de carga de la planta de butadieno que produce propileno, fue de 420 millones de pesos, la urbanización de la planta 3.7 millones, la tubería de patio 47 millones, las torres de enfriamiento 46 millones y la subestación 15 que provee la energía para el sistema eléctrico 30 millones (17).

TABLA I.4.1.

#### LOCALIZACION Y CAPACIDAD INSTALADA

PLANTA	PRODUCTO	CAPACIDAD NOMINAL (T/A)	LOCALIZACION	AÑO EN QUE INICIO
Butadieno	Butadieno	55 000	Cd. Madero	1975

Fuente: Memoria de labores. PEMEX. 1976.

### I.5. Producción y consumo.

A continuación en la tabla I.5.1. se muestran las cifras para los años de 1971 a la fecha.

TABLA I.5.1.

#### PRODUCCION Y CONSUMO APARENTE DE BUTADIENO

AÑO	PRODUCCION (T/A)	IMPORTACION (T/A)	CONS. APARENTE (T/A)
1971	---	44670	44670
1972	---	50306	50306
1973	---	52847	52487
1974	---	57957	57957
1975	22037	24928	46965
1976	18640	24424	43064
1977	23321	12735	36056

Fuente: Memoria de Labores. PEMEX. 1971-76.  
Dirección General de Estadística . S.P.P.

El consumo aparente se incrementó un 9% anual hasta el año de 1975, en ese año el consumo aparente decreció 19% y en 1976 decreció 8% con respecto al año anterior, para 1977 también decreció en un -- 16%. La producción se inició en 1975 y ha tenido altibajos debido a problemas en la operación de la planta. Las importaciones crecieron hasta 1974. Los principales países importadores han sido: USA, Japón, Finlandia, Reino Unido y países Bajos.

### I.6. Plantas en proyecto.

Una planta de butadieno se proyecta para el complejo de Allende Ver., la planta tendrá una capacidad de 30 000 toneladas por año. - El complejo petroquímico de Allende Ver., se empezará a construir --

una vez que se halla terminado el complejo de la Cangrejera Ver.

TABLA I.6.1.

PLANTAS EN PROYECTO

PLANTA	PRODUCTO	CAPACIDAD NOMINAL (T/A)	LOCALIZACION	OBSERVS.
Butadieno	butadieno	30 000	Allende Ver.	En proyecto

Fuente: Memoria de Labores PEMEX. 1976.

I.7. Precio por tonelada.

El precio por tonelada promedio en el país y en el extranjero, - éste último en base a las importaciones, se muestran en la tablas I.7.1. y I.7.2.

TABLA I.7.1.

PRECIO EN EL PAIS

AÑO	PRECIO DE UNA TONE- LADA DE BUTADIENO - (pesos)
1975	6 500
1976	5 628
1977	8 349

Fuente: PEMEX.

TABLA I.7.2.

PRECIO EN EL EXTRANJERO

AÑO	PRECIO DE UNA TONE- LADA DE BUTADIENO - (pesos)	AÑO	PRECIO DE UNA TONE- LADA DE BUTADIENO - (pesos)
1971	1 469	1975	5 793
1972	1 344	1976	7 202
1973	1 580	1977	11 653
1974	3 818		

Fuente: Dirección General de Estadística. S.P.P.

## MONOMERO ESTIRENO.

### Introducción.

El estireno o vinilbenceno se obtenía de un bálsamo de un árbol de Asia Menor; los griegos lo usaban como incienso; se usó después - en medicinas, jabones y perfumería. En el año de 1869 Berthelot descubrió que la deshidrogenación de etilbenceno por pirolisis daba estireno como producto principal, poniendo las bases de la producción comercial de estireno sintético (18).

Al igual que el butadieno el incremento en la producción de estireno y el incremento también en la investigación sobre los procesos de obtención del estireno en los Estados Unidos, se debió a la invasión de los japoneses de las plantaciones de caucho; ésto produjo El Programa del Hule, que hizo que el estireno tomara una gran importancia.

En la actualidad la importancia del estireno radica en que es base para la manufactura de hules sintéticos y base también de uno de los renglones de la industria más importantes que es el poliestireno.

La planta de PEMEX ubicada en Cd. Madero para la producción de estireno comenzó a operar en el año de 1967, cubriendo este renglón tan importante para la industria petroquímica.

### I.8. Algunas Propiedades.

El estireno es el hidrocarburo aromático más sencillo con una cadena lateral no saturada. Es líquido a temperatura ambiente, incoloro, su olor es dulce a bajas temperaturas y a altas desagradable. En exposición al aire forma peróxidos, aldehidos y cetonas. Es insu

luble en agua y soluble en metanol, etanol, éter, acetonas, benceno, tolueno, tetracloruro de carbono y sulfuro de carbono.

Es altamente reactivo por ser un hidrocarburo con dobles enlaces conjugados. El calor, la luz y una gran variedad de catalizadores favorecen la polimerización. A elevadas temperaturas se incrementa la velocidad de polimerización.

Este monómero de vinilbenceno se oxida y se reduce fácilmente; reacciona con muchos hidrocarburos. No corroe los metales a excepción del cobre, no es un líquido inflamable, forma mezclas explosivas con el aire. Es tóxico y en concentraciones de 10 000 p.p.m. -- puede ser mortal en un lapso de media a una hora de exposición.

#### I.9. Métodos de producción.

Durante el Programa de Emergencia de la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron los principales procesos para la producción de estireno. Aunque todos los procesos usan como materia prima el etilbenceno y son muy semejantes en algunos de sus pasos principales, sin embargo, cada proceso difiere de los demás en el equipo que utiliza así como en algunas condiciones de operación. Los procesos consisten principalmente en la deshidrogenación de etilbenceno a estireno.

##### I.9.a. Proceso Dow Chem Co.

El proceso consiste en la alquilación de benceno con etileno para obtener etilbenceno y después por medio de una deshidrogenación de etilbenceno producir estireno. La carga a la planta es benceno (de calidad estireno), etileno (90-95% puro), cloruro de aluminio anhidro y cloruro de etilo.

En el proceso de benceno fresco se seca y se carga al reactor -

de alquilación, el etileno se mezcla en la alimentación con cloruro de hidrógeno, el cual es un promotor y se obtiene indirectamente del cloruro de etilo. Los catalizadores usados son: un catalizador complejo que es una mezcla de compuestos orgánicos pesados y un catalizador sólido que es el cloruro de aluminio.

La temperatura de reacción es de  $93^{\circ}\text{C}$ . y la presión ligeramente superior a la atmosférica. El etilbenceno obtenido se separa de componentes pesados y del catalizador complejo, se lava y luego se purifica por destilación. El etilbenceno así obtenido pasa a la sección de deshidrogenación que es muy semejante a la del proceso Alkar. Este proceso se puede ver en (20).

#### I.9.b. Proceso Monsanto-Lummus.

Este es un proceso para la producción de estireno por alquilación de etileno y benceno y posteriormente para una deshidrogenación de etilbenceno.

El etilbenceno es producido por alquilación de benceno con etileno en presencia de un catalizador orgánico complejo de cloruro de aluminio anhidro. Durante la reacción se forman algunos polietilbencenos. El catalizador se separa y se regenera frecuentemente. Por medio de un sistema de fraccionamiento se recupera de efluente del reactor el etilbenceno de alta pureza, recirculándose los polietilbencenos y el benceno no convertido.

Antes de entrar a la sección de deshidrogenación se vaporiza el etilbenceno, mezclándolo primero con vapor y después sobrecalentándolo en un horno, finalmente se le une una corriente de vapor sobrecalentado en el mismo horno. El efluente del reactor para su purificación sigue más o menos los mismos pasos que el proceso Alkar. Este -

proceso Monsanto-Lummus puede verse en (25).

#### I.9.c. Proceso Union Carbide-Cosden Bagder.

Este proceso también usa una alquilación de benceno y etileno para producir etilbenceno que por medio de una deshidrogenación de estireno.

El benceno junto con gas etileno y con polietilbenceno recirculados reacciona en presencia de cloruro de aluminio en un reactor de alquilación. El etilbenceno que sale del reactor se decanta en un tanque asentador recirculando la capa que corresponde al catalizador complejo hacia el reactor.

El etilbenceno crudo que sale del asentador se manda a la sección de destilación, aquí se separa el benceno de recirculación en la primera columna y el etilbenceno continúa hacia otro sistema de columnas donde se separan los polietilbencenos que posteriormente se mandan al reactor de alquilación.

El etilbenceno obtenido es de pureza de grado de calidad estireno. En la sección de estireno, el etilbenceno se combina con etilbenceno de recirculación, la corriente resultante se mezcla con vapor sobrecalentado y se alimenta al reactor de deshidrogenación. En el reactor, la presión y la temperatura son las mejores variables para mantener una conversión alta por paso. El siguiente paso de purificación es semejante al del Proceso Alkar. Para este proceso ver (26).

#### I.9.d. Proceso Alkar, Universal Oil Products.

Este es el proceso usado por Pemex en su planta de Cd. Madero en seguida se expone detalladamente.

### I.10. Proceso Alkar.

El proceso Alkar de la Universal Oil Products, presenta la ventaja de consumir materiales más baratos, ya que es posible utilizar corriente de etileno muy diluida (hasta 10% de conc).

Este proceso es para la fabricación de etilbenceno que luego se usa como materia prima para obtener estireno. En este tema sólo se tratará la deshidrogenación de etilbenceno a estireno.

Esencialmente el proceso consta de dos etapas: una deshidrogenación catalítica y una purificación de estireno crudo.

#### I.10.a. Alimentación

Esencialmente la alimentación para la planta de estireno de Cd. Madero está formada por etilbenceno que proviene de cuatro fuentes -- que son:

- Fraccionamiento de mezcla de aromáticos producidos por re--  
formación catalítica de gasolinas ligeras desulfuradas en --  
la Refinería de Minatitlán.
- Alquilación del benceno con etileno de baja concentración --  
(Proceso Alkar) producido en la desintegración catalítica --  
de gaseoleos en la Refinería de Cd. Madero.
- Alquilación de benceno con etileno de alta concentración --  
(Proceso Alkar) en la Refinería de Minatitlán.
- Importaciones de etilbenceno.

El paso de alimentación de etilbenceno debe de ser con una con--  
centración de menos de 0.04% de dietilbenceno, porque esta substancia  
se convierte facilmente en divinilbenceno. El divinilbenceno se poli--  
merizq facilmente para formar residuos insolubles en el sistema de pu

rificación (19,20).

### I.10.b. Reacción química.

La reacción es una deshidrogenación de etilbenceno a estireno es una reacción altamente endotérmica.



En adición a esta reacción principal, un número de reacciones laterales conduce a la formación de productos no deseables. Las reacciones colaterales son de dos clases: a) El craqueo de etilbenceno -- da; tolueno, benceno, metano, etano etc., y b) El craqueo de tales hidrocarburos produce carbón. Finalmente, muy pequeñas cantidades de etilbenceno y difenil se han detectado en el producto (21).

Un incremento en el volumen acompaña a la reacción y por tanto es conveniente una disminución en la presión (22). La operación bajo vacío ha sido desechada por aspectos de seguridad y por el costo de compresión. Casi todos los reactores adiabáticos como el que lleva a cabo esta reacción de deshidrogenación catalítica operan tan cerrados a la presión atmosférica como la caída de presión a través de la cama del catalizador y los equipos de cambio de calor le permitan --- (23). Para disminuir la presión se alimenta a vapor en una propor--- ción de 2.6 partes por una de etilbenceno, lo que reduce la presión parcial de los productos hasta aproximadamente 0.1 atm., por razones más fuertes el vapor se ha empleado como diluyente en las reacciones. El vapor sobrecalentado provee el calor de deshidrogenación y al ---- mezclarlo inmediatamente con etilbenceno antes del contacto con el ca talizador evita las reacciones laterales al mínimo, suprimiendo tam--- bién el calentamiento directo. En resumen el vapor, remueve continua

mente los depósitos de carbón sobre el catalizador por reacción agua-gas al permitir el uso de un catalizador de este tipo. Teniéndose -- que renovar solo periodicamente el catalizador, permitiendo una operación continua (20).

#### I.10.c. Catalizador.

La necesidad de un catalizador deshidrogenante selectivo es evidente, catalizadores como óxido de zinc, óxido de cromo, óxido de fierro, óxido de manganeso sobre carbón activado, alúmina ó bauxitas sobre condiciones apropiadas catalizan específicamente la reacción y -- permiten una alta velocidad de reacción, a temperatura suficientemente baja para evitar las reacciones de craqueo. Los catalizadores a -- base de peróxido de fierro y óxido de manganeso son los más frecuen-- temente usados (20).

En la planta de estireno de la Refinería de Cd. Madero se emplea un catalizador Shell Development Co.-105 (23), el cual contiene un -- considerable porcentaje de óxido de fierro 85% activado con una pequeña proporción de un compuesto de potasio 4% y óxido de cromo 11%, eate catalizador en condiciones normales de operación tendrá un tiempo\_de vida de 1 a 3 años, proporcionando rendimiento de 85% de conver--- sión y además, manteniendo una operación continua y uniforme. Este - catalizador es de alta selectividad a una temperatura de 580 a 630<sup>o</sup>C, minimizando las reacciones colaterales. El cromo actúa como activa-- dor de la reacción entre el carbón y el vapor (21).

#### I.10.d. Descripción del proceso.

De la figura I.2., una corriente de etilbenceno purificada pasa\_ por un vaporizador y posteriormente intercambia calor en el inter----

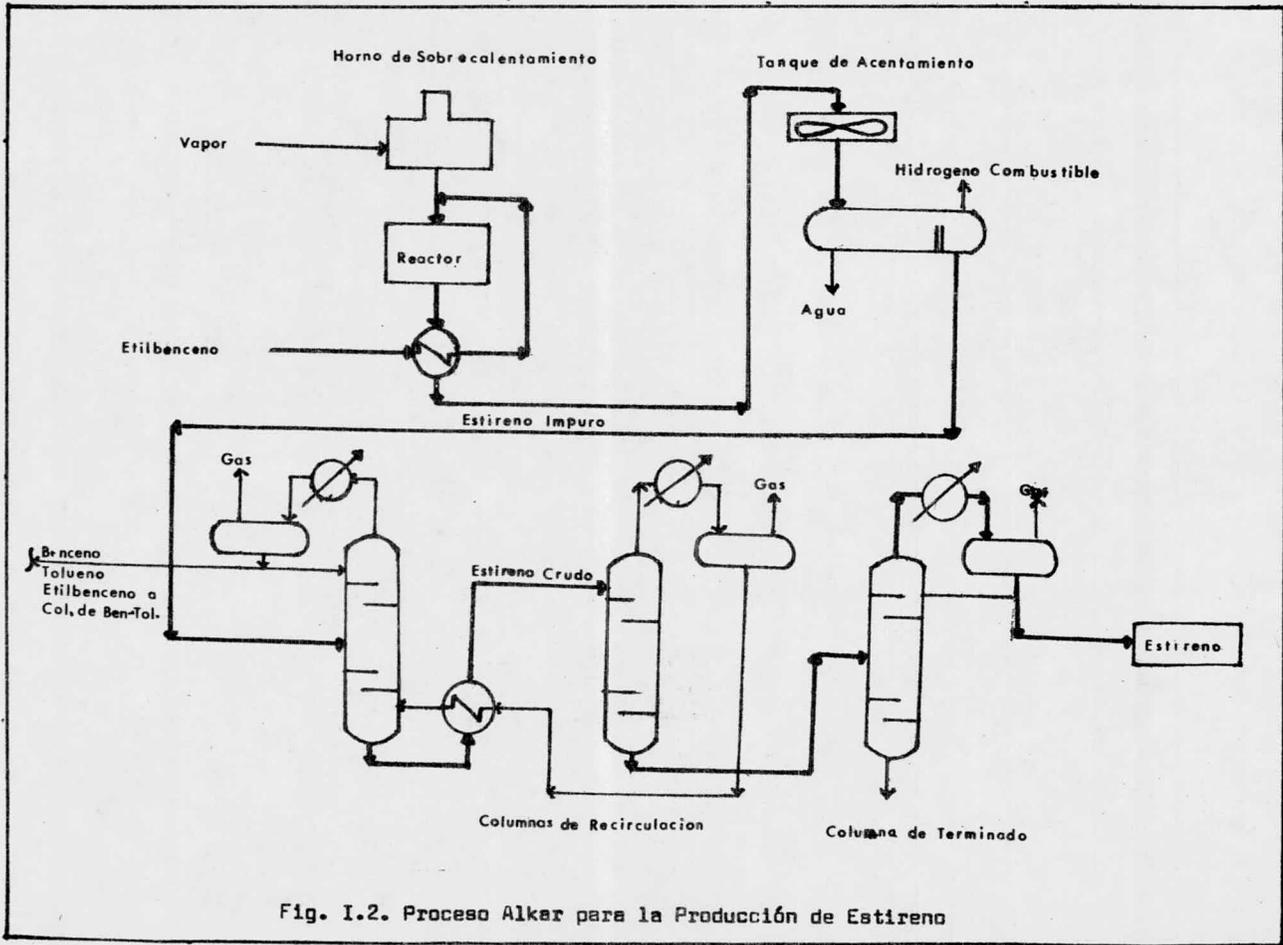


Fig. I.2. Proceso Alker para la Producción de Estireno

cambiador con la corriente que sale del reactor con el fin de elevar la temperatura. Por otro lado en el horno de fuego directo, una corriente de vapor se sobrecalienta y posteriormente se une con una corriente de etilbenceno. La mezcla resultante se manda al reactor de deshidrogenación, donde se lleva a cabo la reacción endotérmica mediante la cual se produce estireno. La deshidrogenación se lleva a cabo a una temperatura de  $593^{\circ}\text{C}$ ., y a una presión de 1 atm.

La reacción se conduce de una manera que se convierte de 30-35% del etilbenceno que se alimenta. El efluente del reactor se enfría en un cambiador de calor mediante el intercambio de calor con la corriente de alimentación, posteriormente pasa por un condensador y después va a un tanque de asentamiento. El hidrógeno producido durante la reacción sale por la parte superior de este tanque y se ocupa como combustible, aquí también se separa el agua que puede usarse posteriormente.

La corriente de estireno crudo contiene etilbenceno que no ha reaccionado, benceno, tolueno, y pequeñas cantidades de otros subproductos. Estos materiales se remueven por un sistema de columnas que operan en serie. La corriente que sale por el domo de la primera columna se recircula hacia la columna de separación de benceno-tolueno donde se combina con el etilbenceno fresco proveniente del fraccionamiento.

El estireno se obtiene por los fondos de la segunda columna junto con una pequeña cantidad de polímero, la cual se separa de la corriente principal en una columna de destilación, obteniéndose por el domo estireno (99.7% puro).

Para minimizar la producción de polímero la columna que recibe -

el estireno crudo opera a muy baja presión para reducir la temperatura de operación. La formación de polímeros durante la destilación se retarda mediante la adición de azufre como inhibidor. El estireno se mantiene almacenado a  $16^{\circ}\text{C}$ ., para evitar la polimerización (27).

#### I.10.e. Purificación de estireno.

Los requerimientos del fraccionamiento son estrictos. No solamente el estireno producido debe de ser de alta pureza, sino también el recirculado de benceno-tolueno. El punto normal del etilbenceno de ebullición es sólo  $9^{\circ}\text{C}$ . inferior al del estireno, este factor junto con la polimerización ocasiona que la destilación de estireno a su punto normal de ebullición que es de  $145.2^{\circ}\text{C}$ ; esté fuera de toda consideración, pues la velocidad de polimerización sería muy elevada.

Una destilación en condiciones de vacío disminuiría el punto de ebullición del estireno. A 30 mm. de Hg. de presión absoluta el punto de ebullición del estireno es de  $54^{\circ}\text{C}$ ., y su velocidad de polimerización es menor a 0.1% por hora.

Por otra parte, pequeñas cantidades de ciertos materiales como divinilbenceno actúan como catalizadores de la reacción de polimerización para evitar esto se disuelve azufre en el estireno debido a que éste actúe como inhibidor de la polimerización.

Sólo por una combinación de operación al vacío, el uso de un --- inhibidor de la polimerización y un diseño especial de las columnas, la destilación del estireno puede llevarse a cabo con buenos resultados.

En la destilación del estireno con el inhibidor la temperatura nunca debe de exceder a  $90^{\circ}\text{C}$ ; un descuido aquí, acarrea miles de ----

horas hombre de trabajo para limpiar las líneas. Puesto que el azufre añadido debe tener poca concentración en el punto final para su almacenamiento y transporte se le añade otro inhibidor, el más comercial es el p-terbutil catecol, en una concentración de 10 a 15 p.p.m.

La pureza del estireno no debe ser menor a 99,7%, aún purezas de 99.95% no garantizan un producto deseable. A continuación en la tabla I.10.1. se dan algunas especificaciones para el producto comercial. La planta de Cd. Madero produce estireno de pureza promedio de 99.7%.

TABLA I.10.1.

ANALISIS DEL MONOMERO DE ESTIRENO

MATERIAL	POR CIENTO
Estireno	99.7
Aldehidos	0.010
Azufre	0.003
Peróxidos	0.001
Polímero	-----
Etilbenceno e Isopropileno	0.3
P-terbutil catecol	10.0 p.p.m.

Fuente: Boundy-Boyer, Styrene Its  
Polymers. Cap. 2, pag. 41.

I.10.f. Manejo de estireno.

El producto estireno del sistema de purificación pasa a un recipiente horizontal. Ahí se le añade p-terbutil catecol de tal manera que alcance una concentración mínima de 10 p.p.m. El transporte de estireno se hace normalmente en carros tanque aislados, aún cuando ca

rros normales se usan en tiempos fríos. El estireno se bombea a través de un enfriador refrigerado para proveer una temperatura de carga abajo de 20°C. Con estas precauciones la formación de polímeros es muy pequeña.

#### I.11. Localización y capacidad de la planta.

La planta de estireno se encuentra en el complejo petroquímico de la Refinería de Cd. Madero. Inicio su operación en el año de 1967, tuvo un costo de 78 millones de pesos y sus instalaciones auxiliares de 30.75 millones de pesos (2B).

TABLA I.11.1.  
LOCALIZACION Y CAPACIDAD INSTALADA

PLANTA	PRODUCTO	CAPACIDAD NOMINAL (T/A)	LOCALIZACION	AÑO EN QUE INICIO
Estireno	Estireno	33 000	Cd. Madero	1967

Fuente: Memoria de Labores. PEMEX. 1976.

Su capacidad nominal que era de 30 000 T/A se modifico en función de su operación real a 33 000 T/A.

#### I.12. Producción y consumo.

En la tabla I.12.1. se muestran los datos de 1971 a la fecha. El consumo aparente se ha incrementado a un 17% anual excepto en el año de 1974 que tuvo un decremento de 8%, se observa que seguirá aumentando debido a la gran demanda de este producto. Las importaciones se han incrementado desde 1971 y aunque en 1976 decrecieron, esto se debió a que la producción aumento hasta alcanzar el tope, por lo que se prevé que las importaciones seguirán aumentando. La producción en 1976

y 1977 fue mayor que la capacidad nominal debido a que la capacidad de la planta se modificó en función de su operación real.

TABLA I.12.1.

PRODUCCION Y CONSUMO APARENTE DE ESTIRENO

AÑO	PRODUCCION (ton)	IMPORTACION (ton)	CONSUMO APARENTE (ton)
1971	30 697	5 066	35 763
1972	32 063	8 337	40 400
1973	32 794	16 510	49 304
1974	29 666	15 457	45 123
1975	27 355	29 273	56 628
1976	34 900	27 257	62 157
1977	36 373	37 993	74 366

Fuente: Memorias de Labores PEMEX. 1971-77  
Dirección General de Estadística. S.P.P.

I.13. Plantas en proyecto.

Se tiene en proyecto una planta de estireno en el complejo de la Cangrejera Ver.; se espera que empiece a operar en 1979.

TABLA I.13.1.

PLANTAS EN PROYECTO

PLANTA	PRODUCTO	CAP. NOMINAL (T/A)	LOCALIZACION OBSERVS.
Estireno	Estireno	150 000	La Cangrejera en Ing.

Fuente: Memorias de labores. PEMEX. 1976.

I.14. Precio por tonelada.

El precio en el país y en el extranjero se da en las tablas --- I.14.1. y I.14.2. respectivamente. El precio promedio en el extranjero se da en bases a las importaciones.

**TABLA I.14.1.**  
**PRECIO EN EL PAIS**

AÑO	PRECIO POR TONE- LADA DE ESTIRENO (pesos)
1971	3 000
1972	4 360
1973	3 715
1974	6 165
1975	7 000
1976	7 480
1977	10 460

Fuente: PEMEX.

**TABLA I.14.2.**  
**PRECIO EN EL EXTRANJERO**

AÑO	PRECIO POR TONE- LADA DE ESTIRENO (pesos)
1971	730
1972	1 655
1973	3 876
1974	9 782
1975	4 970
1976	6 274
1977	10 016

Fuente: Dirección General de Estadística.  
S.P.P.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Whitby, G.S. Synthetic Rubber, Wiley and sons, Inc., New York 1954. Cap. 2, pages. 8-12.
- 2) B. Golding. Polymers and Resins, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, N.Y. 1959.
- 3) H.L. Fisher, Ref. 6, Cap. 5.
- 4) Algunas consideraciones económicas sobre la fabricación de caucho - sintético a parit de alcohol etílico. Hule mexicano y plásticos. - 11(6); 22-27 (1956).
- 5) Whitby, G.S. Synthetic Rubber, Wiley and sons, Inc., New York 1954. Cap. IV.
- 6) Whitby, G.S. Synthetic Rubber, Wiley and sons, Inc., New York 1954. Cap. III, pages. 56-82.
- 7) Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Vol. 2, pages. 687.
- 8) Industrial and Engineering Chemistry. 62(5); 42-43(1970).
- 9) Hydrocarbon Processing, 50(11), 137(1971).
- 10) Hydrocarbon Processing, 50(11), 136(1971).
- 11) Petróleos Mexicanos. Refinería de Cd. Madero. Informe Anual 1973.
- 12) Hydrocarbon Processing/Petroleum Refiner, 32(9), 130-134 (1953).
- 13) E.G. Curphry, Industrial Chemist and Chemical Manufacturer, 35; - 423 (1959).
- 14) Hydrocarbon Processing/Petroleum Refiner, 36 (11); 223-224 (1957)
- 15) Saldaña Garnica L.M. Butadieno. Tesis. UNAM. 1971.
- 16) Whitby, G.S. Synthetic Rubber, Wiley and Sons, Inc., New York 1954. Cap. III. pag. 79.
- 17) Memorias de Labores PEMEX. 1974.
- 18) Whitby, G.S. Synthetic Rubber, Wiley and Sons, Inc., New York 1954. Cap. VI, pag, 142.
- 19) Ponce Cabrera R. Modificación del Sistema de calentamiento de la -- Planta de Estireno de la Refinería de Cd. Madero. Tesis. UNAM. ---- 1974. Cap. II, pages. 12-19.
- 20) R.H. Boundy and R.F. Boyer, Bos., Styrene, ITS Polymers, Copolymers, and Derivatives. Reinhold Publishing, CORP., New York, 1952. Cap. - II, pages. 28-46.

- 21) Grogging P.H. Unit Processes in Organic Synthesis. Mc. Graw Hill. pags. 537-539.
- 22) Chemical Eng. Tech., 37;361 (1965).
- 23) Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Vol. 13, pag. 139-141.
- 24) R.H. Boundy and R.F. Boyer, Bos., Styrene, ITS Polymers, Copoly---mers, and Derivatives. Reinhold Publishing Corp. New York, 1952 - Cap. II, pags. 39-41.
- 25) Hydrocarbon Processing, 50(11); 207(1971) y 54(11); 205(1975).
- 26) Hydrocarbon Processing, 54(11); 204(1975).
- 27) The Oil and Gas Journal. Vol. 56, No. 13, 1958.
- 28) Memorias de labores. PEMEX. 1967.

## CAPITULO DOS

### HULE NATURAL

Hule natural de Hevea.

Introducción.

II.1. Algunas propiedades.

II.2. Métodos de producción.

a) Crepé palido.

b) Hoja ahumada.

c) Hule en migajas.

II.3. Cultivos y beneficiadoras en el país.

II.4. Importaciones de hule natural.

II.5. Precio del hule natural.

Hule natural del guayule.

Introducción.

II.6. Algunas propiedades.

II.7. Recurso natural.

II.8. Métodos de producción.

II.9. Proceso de hule de guayule del CIQA.

II.10. Proyecto de la planta de hule del guayule.

### HULE SINTETICO

Introducción.

II.11. Algunas propiedades.

II.12. Métodos de producción.

II.13. Proceso de polimerización en emulsión.

a) Alimentación.

b) Reacción química.

c) Modificadores de la reacción.

- d) Catalizador.
- e) Descripción del proceso.
- f) Recuperación del producto.

II.14. Proceso de polimerización en solución.

- a) Alimentación.
- b) Reacción química.
- c) Modificadores de la reacción.
- d) Catalizador.
- e) Recuperación del producto.
- f) Descripción del proceso.

II.15. Localización y capacidad de planta.

II.16. Producción y consumo.

II.17. Precio del hule sintético por Kilogramo.

## CAPITULO DOS

### INDUSTRIA DEL HULE NATURAL Y SINTETICO

#### HULE NATURAL.

Una gran variedad de plantas silvestres contienen hule. En este trabajo nos dedicaremos a dos de ellas: el árbol *Hevea brasiliensis* del cual se obtiene toda la producción del hule natural en el mundo, y el guayule (*Parthium argentatum* Gray) que por tener su habitat en el norte de México y por otras razones adquiere importancia para su estudio.

Hule natural de Hevea.

#### Introducción.

El hule era conocido por los antiguos pobladores de América. Los mayas lo usaban para fabricar pelotas para el juego llamado Tlachli, también otras antiguas civilizaciones de México practicaban este juego. Los aztecas fabricaban botellas, capas y suelas para calzado de hule.

Los pobladores del Amazonas conocían y usaban el hule, lo llamaban "caa-u-chu" del que se deriva el nombre francés "cautchoue" y el español "caucho". La academia de Ciencias de París comisionó a Charles Marie de la Condamine para una expedición científica al Amazonas en el año de 1735; en ésta expedición se mandaron los primeros informes científicos del árbol del hule, el hevea.

El árbol *Hevea brasiliensis*, con una altura media de 12-15 mts, tiene hojas ovaladas oscuras de unos 20 cm. de longitud. Enfermedades de la raíz hojas y tallo son muy comunes. Requiere de un clima cálido-húmedo y crece bien hasta en una altitud de 480 mts. Necesita de 180-255 mm. de precipitación pluvial al año. Aunque el árbol

puede crecer en regiones templadas, su máximo rendimiento se obtiene en latitudes no mayores de  $15^{\circ}$ , la vida económica del árbol no es menor de 40 años (1).

Semillas de *Hevea brasiliensis* fueron sacadas de Brasil y llevadas a Inglaterra en el año de 1876 por Henry Wickman, pero las plantas que de ellas nacieron en invernaderos no llegaron a fructificar. En vista del fracaso, se enviaron semillas a Ceilán, donde los plantales dieron suficiente número de semillas para repartirlas Colonias Inglesas de Asia Oriental (2). Este fue el origen de las plantaciones de hule natural en Malaya, Indonesia, Ceilán, Borneo y otras partes del mundo.

#### II.1. Algunas propiedades.

Las propiedades del hule natural están determinadas por las características coloidales de las partículas emulsionadas que son definidas por el tipo de árbol, el cultivo que se le da, el clima, la naturaleza del suelo, las formas de hacer incisiones en la corteza y - sobre todo de la putrefacción que sufre el latex antes de coagularse así como de los métodos de coagulado, lavado y secado.

El hule natural es un polisisopreno en el cual la cadena se encuentra formada por el monómero cis 1,4 en un 99%. Esta microestructura es la que imparte al hule sus características típicas de elasticidad y de cristalinidad bajo tensión. La importancia del alto contenido del isómero cis 1,4 es debida a que esta microestructura es la que permite al hule natural cristalizar bajo esfuerzo; esto prevee una gran resistencia a la tensión.

Para un hule existe una propiedad muy importante que es la temperatura de transición vítrea, que es una temperatura que involucra cambio en las propiedades intrínsecas, de tal manera que la materia

pasa de un comportamiento elástico a otro frágil y duro.

Otra propiedad importante es la viscosidad mooney. Esta propiedad mide lo chicloso del hule. Al aumentar el peso o la cantidad de ramificaciones laterales, aumenta la viscosidad mooney.

Las propiedades que se adquieren al añadirsele al hule productos químicos, al vulcanizarse y reforzarse son: resistencia a la oxidación, resistencia a la tensión, elasticidad, módulo, dureza, resistencia a la abrasión a la flexión, al desgarrar.

## II.2. Métodos de producción.

Existen tres principales tipos de hule natural que son: crepé - pálido, hojas ahumadas y en migajas. La manera de producirlos es pa recida variando solo algunos puntos del proceso.

El hule se obtiene por medio del "sangrado del árbol", que consiste en hacer un corte en forma de ángulo a través de la corteza profundizando hasta el cambium. La recolección se hace en una pequeña vasija que se cuelga en el tronco del árbol para recoger el látex. Este contiene 30-36% de hule, 0.3-0.7 de cenizas, 1-2% de proteínas, 2% de resinas y 0.5% de quebrachitol. El látex es una secreción irreversible o producto de desecho del árbol y cuanto más se extrae, más la planta lo regenera. La época del año afecta la composición del látex, así como el tipo de suelo y la línea o casta del árbol. El hule es producido en el protoplasma por reacción bioquímica de polimerización catalizadas por enzimas (3).

Una vez que se ha sangrado el árbol y recolectado el látex en vasijas, los recolectores lo llevan a una estación en donde el látex se carga a unos auto tanques. El auto tanque transporta el látex hasta la factoría donde se recibe y se coagula añadiéndole agua y ácido

fórmico. Después de coagulado el hule adquiere su forma comercial.

a) Crepé pálido.

Para la preparación del hule rizado o crepé pálido se usa bisulfito de sodio que retarda la acción de las oxidasas e impide la coloración y el ablandamiento. Por 100 Kg. de hule seco en el látex, se necesitan alrededor de 0.5 Kg. de bisulfito de sodio. Después de -- que se ha añadido el ácido y el retardador, se deja escurrir el coagulo húmedo durante dos horas. Se hace pasar el coagulo por una máquina de rizado que consta de dos cilindros provistos de surcos longitudinales sobre los cuales se pulveriza el agua. La última máquina de rizado produce una lámina de superficie rugosa que recuerda al papel crepé. Algunos productores usan máquinas de cilindros lisos - para el acabado, que dan a la superficie un aspecto más uniforme (4).

b) Hoja ahumada.

En la preparación de la hoja ahumada, la coagulación se efectúa en tanques largos de 90 cm. de ancho por 30 cm. de profundidad. El tanque tiene a los costados unos surcos verticales espaciados a una distancia de 38 mm. en los que se ajustan plantas metálicas que atraviesan la anchura del tanque. El látex diluido se vacía en el tanque, se añade ácido fórmico y se agitan muy bien para mezclarlo con el látex. Se insertan las láminas divisoras y se deja en reposo 16 horas. Al cabo de éste tiempo se han formado planchas de coagulo de látex de 30 mm. de grueso (5). Estas planchas se hacen pasar por cilindros para pulverizar el agua. El producto final es una lámina acanalada que es dejada en el aire libre unas horas. Después de esto a diferencia del crepé pálido que se seca con aire caliente, la hoja ahumada se cuelga en un covertizo de secamiento por humo. Por el secado el hule toma un color amarino y se vuelve traslucido.

Después de ésto se empaqa y se almacena para su transporte.

c) Hule en migajas.

Después que el hule ha coagulado, para su fabricación en forma de migajas pasa a un desmigajador. Las migajas así obtenidas pasan a un sistema de drenaje donde se les extrae la mayor parte del agua. La humedad que le queda a las migajas se extrae con un cuarto de secado con aire caliente. Las migajas secas son ahora enfriadas obteniéndose de ellas látex, hule en migajas en forma de copa (cup lump) y hule en migajas en forma de cinta (tree lace). Después las migajas pasan a una empacadora en las que se forman pacas de hule y se cubren con una película de polietileno. Estas pacas se almacenan listas para su transporte (5). Este proceso se muestra en la figura II.1.

La principal diferencia entre el hule hoja ahumada y el hule crepé radica en el color. Para usos en los que no importa el color se puede usar hoja ahumada y en las que requiera tener una apariencia transparente o clara se usa el crepé. El hule en migajas difiere de los demás en que se caracteriza por estar en forma granulada y esto permite un mejor procesado, no necesita mucho tiempo de masticado, de ahí que ultimamente se prefiera este hule por el ahorro en el proceso de masticación.

II.3. Cultivos y beneficiadoras en el país.

El Instituto Mexicano del Café, por medio del programa del hule ha plantado árboles de *Hevea brasiliensis* de alto rendimiento en el sur del país (6) como se puede ver en la tabla II.1. La producción de hule natural del país se estima de 4 000 toneladas por año, cifras que representan mas o menos el 10% del consumo nacional. El

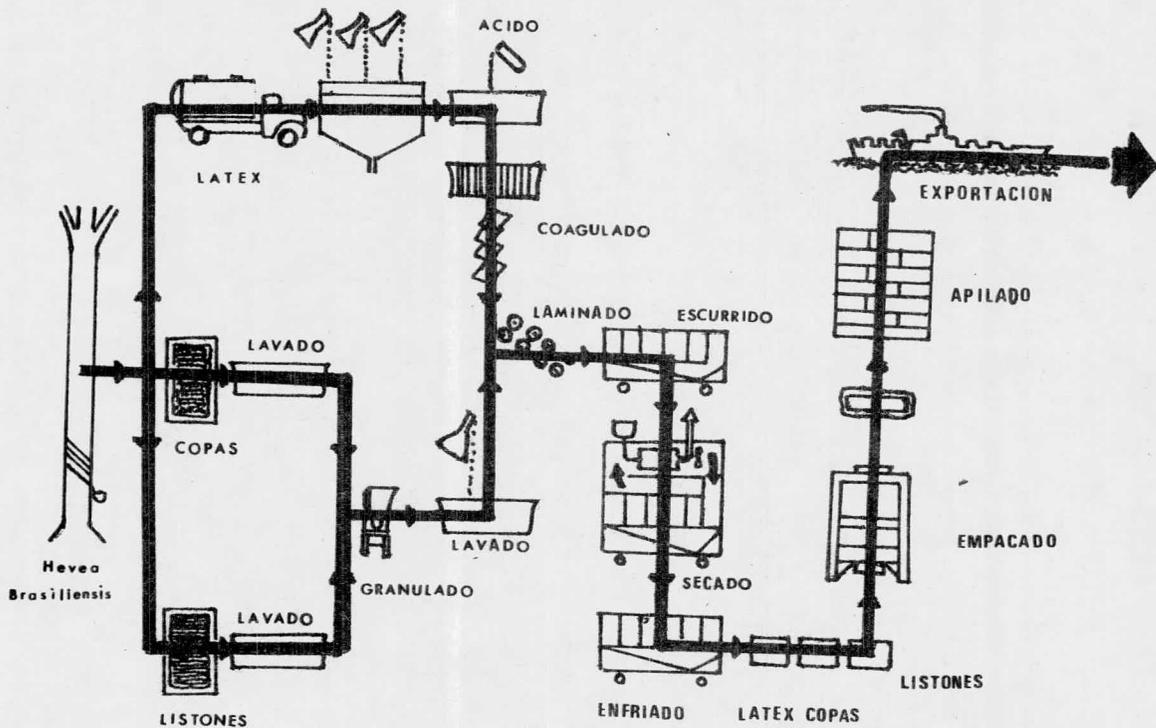


Fig. II.1. Proceso para la Producción de Hule Natural en Migajas

incremento en la producción de árboles es necesario aumentarlo: el Instituto Mexicano del Café tiene proyectos para plantar 28 000 hectareas de hevea con una capacidad productiva de 1 200 toneladas por hectarea al año, al cabo de 8 años de iniciado el cultivo. Existen beneficiadoras de hule en Las Choapas y Acayucan Ver. y Tuxtepec Oax.

TABLA II.1.

Región	Hectareas plantadas con Heveas
El Palmar Ver.	1305
Valle Nacional Oax.	1086
Región Istmica. Ver. y Oax.	477
Sur de Tabasco y Norte de Chiapas	1933
Soconusco Chiapas	107
Total	<hr/> 4908

#### II.4. Importaciones de hule natural.

México importa el 90% de su consumo de hule natural. La mayor parte de sus importaciones las hace a Malasia, Singapur, Estados Unidos, Indonesia y otros países.

Las importaciones a partir de 1970 y el monto de las operaciones se presenta en la tabla II.2.

#### II.5. Precio del hule natural.

Básandose en la tabla II.2., calculamos los precios del hule natural a partir de 1970, mostrándolos en la tabla II.3.

El dato para 1976 del valor de las importaciones se da para el cambio de 12.50 pesos por dolar; se observa que en ese año con el tipo de cambio de 22.80 por dolar el precio sería aproximadamente de -

22 pesos. Se tiene estimado que en 1977 el precio promedio del hule natural en el mercado de Nueva York y de Londres será de 22.10 pesos por Kg.

TABLA II.2.

AÑO	IMPORTACIONES (ton.)	VALOR DE LAS IM- PORTACIONES (miles de pesos)
1970	23 696	141 772
1971	26 597	132 360
1972	23 747	109 626
1973	24 915	185 990
1974	29 312	304 266
1975	31 908.5	236.239
1976	35 512.5	427 706
1977	34 089	681 633

Fuente: Dirección General de Estadística.  
Secretaría de Programación y Presupuesto.

TABLA II.3.

PRECIO INTERNACIONAL DEL HULE NATURAL

AÑO	PRECIO POR Kg. (pesos)
1970	5.98
1971	4.98
1972	4.62
1973	7.45
1974	10.38
1975	7.40
1976	12.04
1977	20.00

Fuente: Dirección General de Estadística.  
Secretaría de Programación y Presupuesto.

TABLA II.3.a.

PRECIO DEL HULE NATURAL EN MEXICO

AÑO	PRECIO POR Kg. (pesos)
1970	5.98
1971	4.98
1972	4.62
1973	7.45
1974	10.38
1975	12.06
1976	---
1977	25.02

Note: En 1976 no se vendió hule por ajustes en el precio de garantía.

Fuente: INMECAFE.

Hule natural de guayule.

#### Introducción.

El guayule (*Parthenium argentatum* Gray) es un arbusto ramificado con una altura inferior a los 60 cm. y que contiene hule en toda la planta menos en las hojas (7). Su hábitat natural se localiza en una zona de 336 Km<sup>2</sup>, ubicada en el norte de México y la región -- del Big Bend, Texas (8).

El guayule crece en forma silvestre en los estados de Coahuila, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Nuevo León y San Luis Potosí.

La planta fue descubierta por el Dr. Bigelow en 1852; éste la envió a la Universidad de Harvard en donde el profesor Asa Gray hizo la descripción original. En el año de 1876 el gobierno Mexicano envió la planta a la "Continental Exposition" en Filadelfia, para conmemorar el centenario de la Independencia de los Estados Unidos.

Cerca del año de 1988 Juan Fritz estableció el primer laboratorio de investigación de la planta en San Luis Potosí, fracasando al poco tiempo por la incoasteabilidad de su proceso por solventes. Sin embargo, Adolfo Marx a finales de 1901 crea una planta procesadora usando un sistema de extracción mecánica en la Hacienda de Jimulco, Coahuila. Esta procesadora dió origen a otras 18 plantas que se establecieron y desaparecieron en el período de 1902 a 1951. La desaparición de las plantas se debió principalmente a la incoasteabilidad del proceso y al agotamiento del recurso.

Por los años de 1942-1943 se efectuaron estudios tendientes a mejorar el hule del guayule modificando la formulación (9,10,11), pero a pesar de estos estudios el guayule perdió importancia debido al alto contenido de resinas y la inestabilidad del hule almacenado por

largos períodos.

En el año de 1974, el CIQA (Centro de Investigación de Química Aplicada) de Saltillo Coah. inició el estudio del guayule. Este centro ha logrado establecer una planta piloto para obtener hule del guayule, con financiamiento de CONACYT y CONAZA. Se ha pensado establecer una planta comercial con una inversión de más de 128 millones de pesos que se empezará a construir en el año de 1978.

#### II.6. Algunas propiedades.

A diferencia del hevea y de otras euforbiáceas, en las que el hule se encuentra en forma de látex en canales comunicados que corren verticalmente a lo largo de la parénquima, en el guayule el látex se encuentra en pequeñas partículas dentro de células aisladas, sin posibilidad de fluir. El arbusto de guayule acumula hule sin utilizarlo ni metabolizarlo. Los contenidos de hule más bajos reportados en México han sido de 10% en base seca; ésto coloca al arbusto como la planta de mayor capacidad fotosintética para producir hidrocarburos o látex, pues el hevea produce 8% en base seca.

Trabajos recientes realizados por microscopía electrónica de barrido (12) muestran el látex del guayule dentro de vacuolas distribuidas en todo el arbusto pero principalmente en el tejido parenquimal.

El hule del guayule es idéntico al hule del hevea. Se han hecho pruebas para identificar la estructura química por medio de resonancia magnética con 300 MHz. (13) y resonancia de carbono 13 (14) dando como resultado que la microestructura del guayule y del hevea son idénticas. También se han realizado estudios del tamaño de la macromolécula dando como resultado que la distribución del tamaño de las moléculas de los dos hules son semejantes (15).

Se han hecho muchos otros estudios (16,17) relacionados con las propiedades fisicoquímicas del hule del guayule de acuerdo con las cuales se puede asegurar categóricamente que a nivel molecular no -- existe diferencia entre los dos materiales.

Por todo ésto se puede afirmar que las propiedades del hule de guayule son las mismas que las del hule del hevea.

#### II.7. Recurso natural.

Como ya se ha dicho el guayule crece en forma silvestre en el norte del país. El guayule es esencialmente una planta semidesértica y puede cultivarse en suelos marginales no adecuados para cosechas de productos alimenticios. Gracias a que esta región ha descansado de la explotación despiadada del guayule que hicieron las compañías de capital extranjero durante la Segunda Guerra Mundial, dejando campos devastados, miseria de los campesinos y ruinas de las construcciones; el guayule se ha recuperado como lo indican los inventarios recién efectuados (18,19,20) que revelan la existencia de 3 millones de toneladas de arbustos adultos en 4 millones de hectáreas en los estados de Coahuila, Zacatecas, Chihuahua, Nuevo León, Durango y San Luis Potosí. Una de las ventajas del guayule es que puede quedarse en el campo sin perder hule y la planta puede considerarse reserva viva en crecimiento.

Por otra parte, la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" comenzó en 1976 las investigaciones agronómicas (21) para determinar la época y el método de cosecha más adecuados para la explotación de las poblaciones naturales de guayule.

Los resultados obtenidos de la investigación son:

- La mayor concentración de hule en la planta de guayule se en-

cuentra en la época de lluvia.

- La resina muestra tres diferentes comportamientos a través del año encontrando la mayor concentración en época de sequía.

- El contenido de hule y resinas no varía significativamente -- dentro de los diferentes estratos de la planta.

- Los tratamientos de corte a ras y arrancado, con o sin desmonte, se comportan igual en su efecto para la producción de plántula después de aplicados, y la mejor época para su aplicación a la población natural es aquella en que la planta ha tirado su semilla al suelo, y de preferencia acompañar el tratamiento con una practica cultural de menor costo que el desmonte y favorecer de esta manera la germinación de la semilla al momento de presentarse las lluvias. Estos tratamientos se recomiendan para aquellas poblaciones de guayule en que la densidad de las plantas es baja, para lograr de esta manera incrementar la población. aún cuando las plántulas producidas requieran de un tiempo considerable para ser nuevamente cosechadas.

El tratamiento de corte a un tercio de altura y aplicado al inicio o medición de la época de lluvia resulta más adecuado para la formación de fitomasa en la planta. Este tratamiento se considera más adecuado emplearlo en aquellas poblaciones de guayule en que la densidad de plantas es alta.

- Los tratamientos de corte al ras, con o sin desmonte, se comportan igual en cuanto al rebrote que producen en la parte que permanece en el suelo, y su mejor época de aplicación es el período de -- lluvias.

Esta investigación se realizó en la población natural de guayule de Rocamontes, Zacatecas.

## II.8. Métodos de producción.

Durante el período de 1902-1951 el hule de guayule se produjo por medio de un sistema de extracción mecánica como lo muestra la fig. II.2. Este proceso sufrió algunos cambios a través de éste tiempo pero sólo fueron modificaciones en las operaciones no en el proceso. En un principio el proceso era intermitente; después se hizo en forma continua. El hule de guayule obtenido así contenía 20% de resinas, 10% de corcho y 70% de hule.

Debido al alto contenido de resinas en el hule del guayule el CIQA desarrolló un proceso basándose en el antiguo, pero adicionando un sistema de recuperación por solventes como lo muestra la fig. II.3.

## II.9. Proceso de hule guayule del CIQA.

Debido a que el látex se encuentra en células aisladas, el hule debe extraerse física y químicamente. Ello exige una desfibración exhaustiva del arbusto que permite recuperar la mayor cantidad del hule. Además el hule debe ser purificado y estandarizado para alcanzar altos niveles de calidad.

Después de numerosas experiencias a nivel laboratorio en abril de 1976 se diseñó y construyó una planta piloto y se inició la experimentación de un nuevo proceso de industrialización del guayule.

El objetivo principal del proceso es utilizar integralmente el arbusto y recuperar los diferentes subproductos químicos que permitirán aumentar el rendimiento económico. El principal subproducto serán las resinas con las que se podrán elaborar adhesivos, aceites seacantes, aditivos para hule e inclusive separar algunos componentes volátiles de importante valor comercial. Con la pulpa y el corcho, además de utilizarlos como energéticos se elaboran materiales

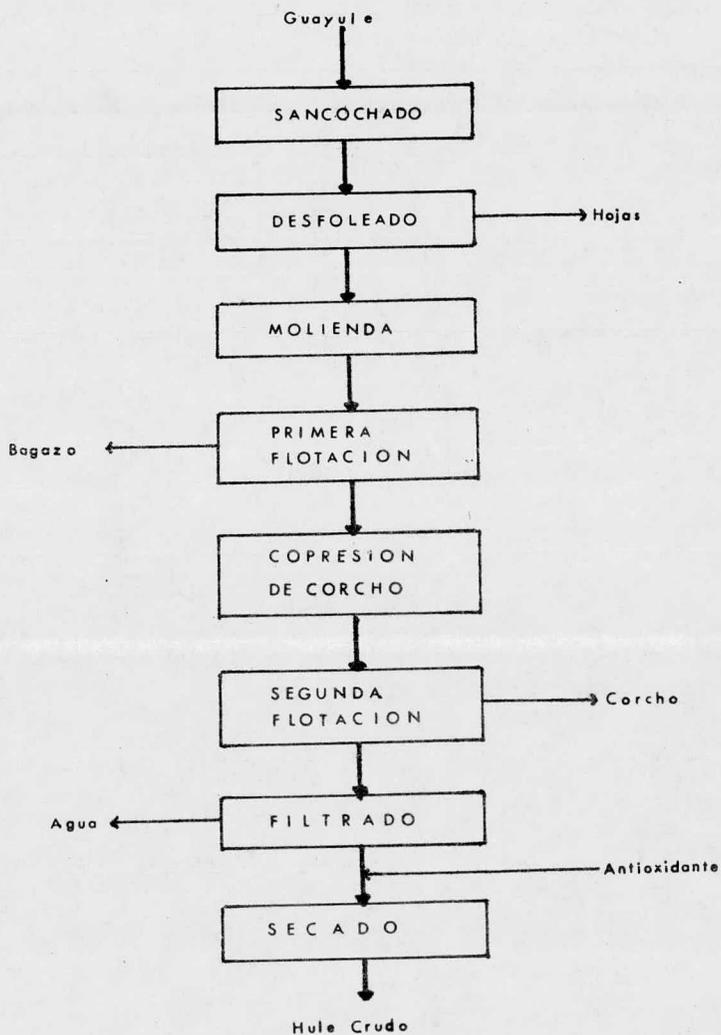


Fig. II.2. Proceso de Extracción Mecánica para la producción de hule de guayule -

aglomerados y quizás mediante su fermentación biomasa, en tanto que las hojas pueden usarse como alimento para ganado.

Este proceso ha sido experimentado en un 90% en cuanto a la producción de hule se refiere en el CIQA, habiéndose utilizado a la fecha 100 toneladas de arbusto. Los resultados han permitido diseñar un proceso viable técnica y económicamente.

El diagrama de la figura II.3. muestra el proceso. El guayule se trata primeramente con agua caliente para ablandarlo y deshojarlo, después pasa a una serie de molinos de martillo y de disco para desfibrarlo. Las fibras pasan a unos tanques de flotación en los cuales se ha agregado sosa cáustica y por medio de agitación se hace flotar el hule; los coagulos de hule así obtenidos pasan al sistema de purificación. El primer paso en el sistema de purificación es el desresinado que se hace por medio de un solvente de las resinas, en éste caso acetona. El hule se saca por la parte de abajo de la torre de desresinación y por arriba sale la acetona ésta pasa a su vez a un sistema que es una torre agotadora que separa por los fondos las resinas que son el principal subproducto, y por el domo la acetona que a su vez es condensada y recirculada a los tanques de alimentación. El hule que sale de la desresinadora pasa a un tanque en donde se disuelve en un solvente, en este caso hexano; la solución pasa a una serie de filtros prensa donde se le extrae las impurezas. El efluente de los filtros pasa a un reactor continuo de coagulación del tipo tanque agitado, por la parte de arriba del reactor sale el hexano que a su vez es condensado y enviado a los tanques de alimentación.

Al reactor se le proporciona calor en forma directa por medio -

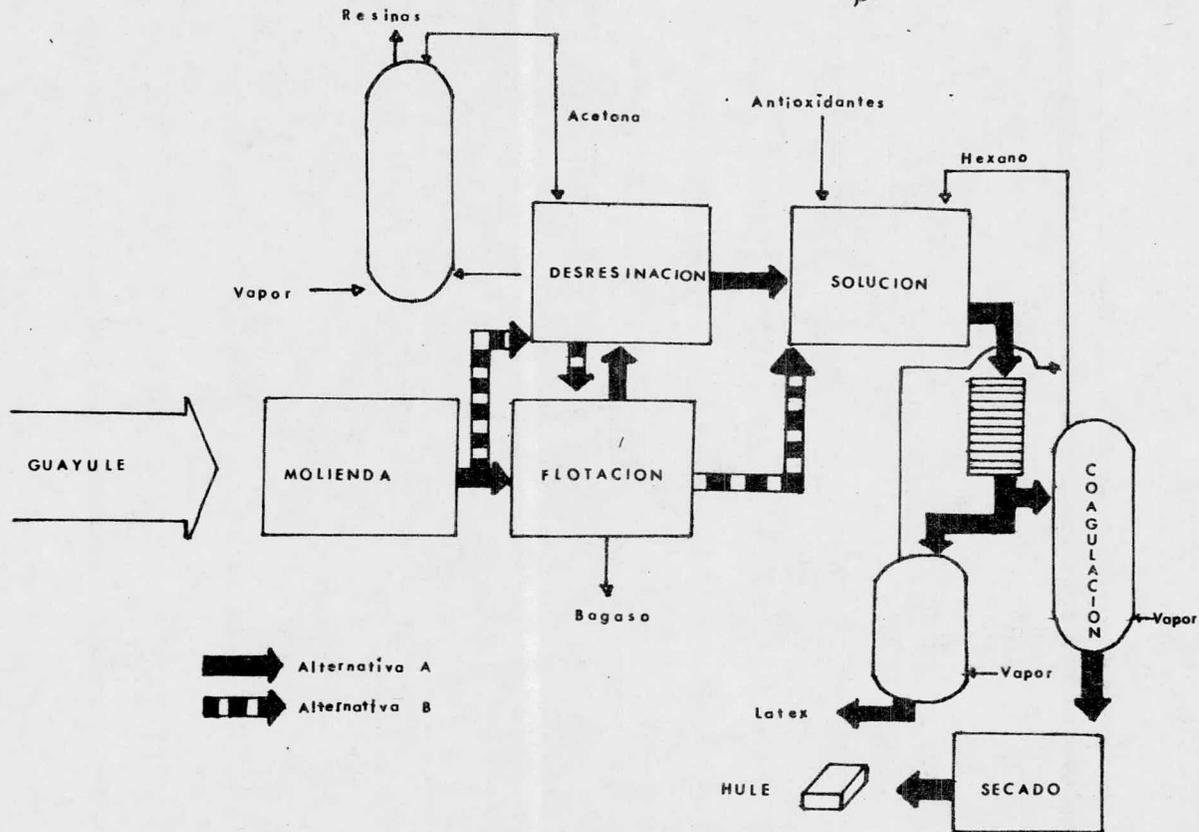


Fig. II.3. Proceso CIQA para la producción de Hule Natural de Guayule

de vapor, el hule y el vapor condensados salen por la parte de abajo y pasan al sistema de secado. Este sistema de secado es por medio de vapor. El hule una vez seco pasa a una prensa donde se le da forma de paca y queda listo para ser almacenado en bolsas de polietileno.

El diagrama de la fig. II.3. muestra otra alternativa que consiste en desresinar las fibras de guayule antes de coagular el hule, los otros pesos se mantienen igual (22).

Todo éste proceso de desresinación se hace para que el hule de guayule se puede procesar, el exceso de resinas impide la buena vulcanización y su reforzamiento. El porcentaje de resinas se deja a un nivel comparable con el que tiene el hule de hevea, esto hace que las máquinas que tengan que tratar el hule de guayule no se les tenga que hacer muchas modificaciones, ni que tampoco se les tenga que hacer a las composiciones de hule. El producto final se obtiene en paca, su presentación es parecida a la del hule natural de hevea en migajas.

#### II.10. Proyecto de la planta de hule de guayule.

El programa CONAZA-CONACYT ha terminado los estudios de preinversión para la primera unidad de producción comercial de hule de guayule que empezará a construir en enero de 1978 y estará en operación a fines de 1979. Su ubicación no ha sido decidida.

La capacidad anual de esa planta será de 5 000 toneladas de hule; requerirá de 128 000 000 de pesos en planta y equipo y 31 000 000 para el primer año de operación.

Pagando a 600 pesos la tonelada de arbusto de guayule en planta y vendiendo el hule a 25\$/Kg. la empresa será viable. El precio ac--

tuel en los Estados Unidos es de 86 centavos dolar por Kg. (20 pesos aproximadamente) y se estima que para 1980 subirá a 1.32 de dolar -- por Kg. (30 pesos aproximadamente). Este estudio solo considera las ventas de hule y omite las de subproductos.

## HULE SINTETICO

### Introducción.

La producción de hule sintético nació como una necesidad de --- substituir al hule natural. Países como Alemania al verse cortados\_ en el suministro de hule natural se dieron a la tarea de crear un -- substituto; ésto sucedió durante la Primera Guerra Mundial en que -- Alemania produjo un hule llamado metilado o meti-caucho, que estaba\_ basado en el dieno 2,3 dimetil-butadieno. Después de la guerra el - interés por la creación de hules sintéticos debido al restablecimien\_ to del suministro de hule natural decayó. No obstante los alemanes\_ siguieron sus investigaciones a nivel laboratorico; fue así que creó\_ el hule buna, este polímero formado por butadieno y sodio se produjo intensamente en forma comercial en Alemania durante la Segunda Gue-- rra Mundial.

Por otra parte, por la invasión Japonesa del sur-este asiático\_ el gobierno americano durante la Segunda Guerra Mundial creó un hule sintético, escogiéndose el copolímero de butadieno y estireno. Du-- rante el Programa de Emergencia de la Guerra el gobierno de los Esta\_ dos Unidos formó la oficina llamada Reserva del Hule, que fue la en\_ cargada de coordinar la investigación del polímero que substituiría\_ al hule natural; el polímero creado fue el GRS (Government Rubber -- Syntetic) ahora llamado SBR (Styrene Butadiene Rubber). Esta ofici\_ na fue también la encargada de diseñar y poner en operación las plan\_ tas de hule sintético; para ésto se auxilió de las principales compa\_ ñías huleras existentes. Después del tiempo de guerra, las plantas\_ de SBR creadas por la oficina de Reserva del Hule fueron vendidas a \_ compañías de capital privado (23).

En la actualidad el principal hule sintético producido en el mundo es el SBR, el principal productor es Estados Unidos, aunque también el gobierno de Canadá ha desarrollado una industria de capital estatal productora de hule sintético bastante grande.

#### II.11. Algunas Propiedades.

Como el hule sintético nació como una necesidad de substituir al hule natural, sus propiedades se pretenden que sean lo mejor parecidas a las de éste, por lo que todas las propiedades enumeradas para el hule natural son válidas en mayor o menor proporción para el hule sintético, por lo que debe hacer mención que algunas propiedades como elasticidad, resistencia, adhesividad y baja generación de calor no han sido suficientemente cubiertas por el hule sintético, por lo que las llantas de camión, agrícolas y de avión que suelen ser usadas bajo condiciones muy severas, se fabrican a base de hule natural sin que pueda ser éste substituido.

#### II.12 Métodos de producción.

Básicamente existen dos métodos para la polimerización de butadieno-estireno. El primero de ellos es el de emulsión y es el más antiguo; fue este proceso el que se desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial. El segundo es el proceso de polimerización en solución que se ha desarrollado últimamente, basándose en los catalizadores organometálicos. En México Hules Mexicanos (HUMEX) usa el proceso de emulsión, con una tecnología de la Polymer Corporation de Sarnia, Canadá. Negremex la otra compañía productora de hule sintético en México, usa el proceso en solución, con una tecnología de la Phillips Petroleum Co., de los Estados Unidos.

#### II.13. Proceso de polimerización en emulsión.

##### a) Alimentación.

En el capítulo anterior se dan las especificaciones con las que se tiene que alimentar el butadieno y el estireno. El butadieno recibido por tubería o carro tanque recibe un lavado caústico para eliminar el inhibidor de la polimerización que se le agrega para su transporte, al mismo tiempo se somete a un proceso de desoxigenación (24). El remover el oxígeno que se introdujo durante la operación de recuperación del butadieno es necesario, puesto que el oxígeno afecta a la polimerización.

El butadieno que no fue polimerizado se recircula al tanque de alimentación de butadieno y aunque la desoxigenación es continua, sería preferible que el butadieno recirculado se usara en la manufactura del polímero a alta temperatura y el butadieno fresco en la manufactura del polímero a baja temperatura. Esto lo describe L.A. Bliss (25).

b) Reacción química.

La reacción de polimerización de butadieno-estireno es altamente exotérmica, por lo que es muy importante la extracción de calor, puesto que en los procesos de polimerización la reacción se lleva a cabo en forma isotérmica. Según se lleve la reacción a temperatura alta o baja se producen diferentes tipos de hule. El hule llamado "caliente" se polimeriza a  $50^{\circ}\text{C}$ ., éste fue el hule producido durante la Segunda Guerra Mundial por los Estados Unidos. El hule llamado "frío" se polimeriza a  $5^{\circ}\text{C}$ . y éste hule se creó debido al desarrollo de sistemas -- iniciadores de radical activo que permiten la polimerización a ésta temperatura. La diferencia de las dos polimerizaciones radica en el sistema de iniciación, éstos se han investigado profundamente y muchas combinaciones han sido descritas (26).

La medición de temperatura de la reacción exotérmica de polimeri

zación debe ser realizada por el uso de un sistema simulador manejando una pluralidad de partes, cada una de las partes corresponde a una zona de reacción, adicionando energía a cada una de las partes del simulador en una cantidad correspondiente a la cantidad de refrigerante suministrado a cada zona de intercambio de calor. Sumando la energía suministrada al sistema simulador, la suma será proporcional al contenido de sólidos del látex. El sistema para determinar el grado de reacción y para la previsión por medio de un control automático del suministro de antioxidante al efluente del reactor, basado sobre las cargas de enfriamiento por un sistema simulador está descrito por --- L.W. Palleck (27).

Un aspecto importante en la polimerización por emulsión es el -- mantener la temperatura constante para obtener un polímero uniforme. A medida que aumenta la temperatura la velocidad de polimerización -- aumenta. Varias técnicas se han descrito, una de ellas es la introducción de un cambiador de calor externo en el reactor para complementar el enfriamiento proporcionado por la chaqueta (28). La fig. II.4. muestra este tipo de técnica en un reactor diseñado por W.C. Hewitt.

La presión de reacción usada es generalmente la atmosférica puesto que la temperatura de reacción es muy baja. Sin embargo, durante la Segunda Guerra Mundial el GRS producido a  $50^{\circ}\text{C}$ ., involucraba una presión de 45-60 psi.

En la polimerización del GRS, la conversión se realiza a una velocidad de 6-8% por hora hasta que la conversión deseada de 60-80% se alcanza. En un proceso continuo el tipo de reacción puede variar de un segundo hasta una hora. La eliminación de calor es muy importante pues, una modificación en el reactor, como la mostrada en la figura - II.4. puede disminuir el tiempo de reacción de una polimerización en

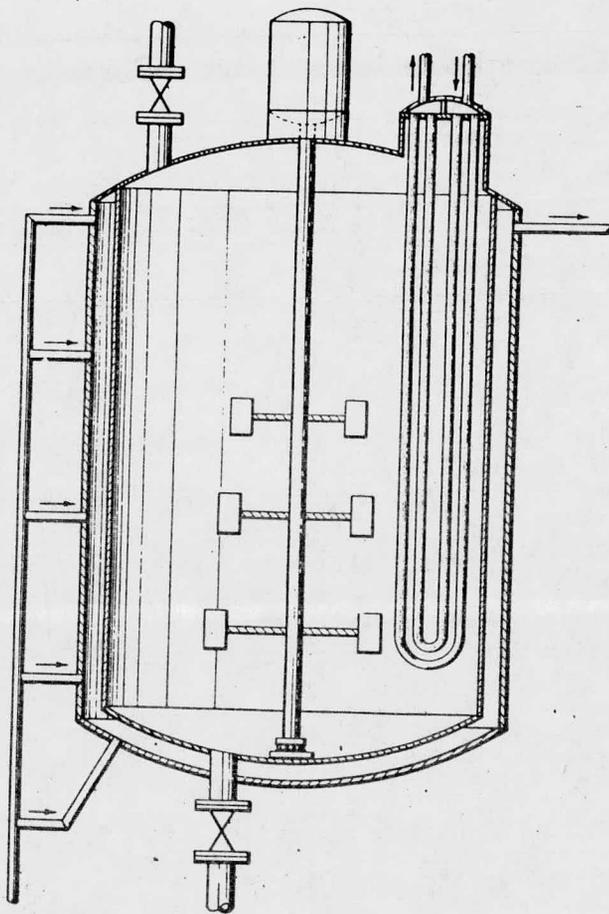


Fig. II.4. Reactor con Cambiador de Calor Externo

caliente hasta un intervalo de 6 a 12 horas. Se han mejorado fórmulas de polimerización tales que el tiempo de reacción se puede reducir a 3 horas.

Una típica fórmula de polimerización de SBR en emulsión es:

	partes en peso
Butadieno	72
Estireno	28
Jabón ácido resínico de sales de potasio	4.5
Agua	180.0
Fosfato trisódico	0.8 max.
Sulfato ferroso heptahidratado	0.2 activador
Pirofosfato de Potasio	0.22
Hidroperóxido de parametano	0.15
Mercaptano dodecil terciario	como requerimiento para la viscosidad mooney deseada.
Sales de sodio de ácido sulfúrico condensado	0.15
Sales de sodio de ácido etilendiamin-tetra acético	0.02 max.

Cuando el proceso de polimerización es a baja temperatura, se debe de agregar un anticongelante soluble en agua para disminuir el punto de congelamiento a una temperatura menor a la temperatura de reacción de polimerización. Se puede usar nitratos, cloruros o sulfatos de metales alcalinos o alcalinoterreos. También se pueden usar alcoholes como: metanol, etilenglicol y glicerol.

c) Modificadores de la reacción.

En la polimerización en emulsión del SBR, el producto inicial es más rico en butadieno que la mezcla final. El estireno se agrega

Poco a poco, en forma continua o en incrementos, para evitar que se forme poliestireno. Además de la consideración anterior para obtener una polimerización homogénea tanto como sea posible se debe parar la reacción a 60-70% de conversión.

Aparte de los paradores los cuales se usan para detener la reacción de polimerización se usan otros complementos, una variedad de modificadores son comunmente añadidos a la mezcla de reacción del SBR - para regular la longitud de las cadenas de polímeros y para prevenir el entrecruzamiento, el cual podría dar un polímero insoluble. Materiales que han sido empleados como modificadores son: compuestos de azufre tales como los alquil mercaptanos, disulfuro de carbono, polisulfuros alcalinos.

Un proceso para mantener constante la conversión por determinación de cambios en la densidad de la mezcla de polimerización, y control de la temperatura de polimerización o suministro de los agentes iniciadores y paradores, en proporción a los cambios en la densidad de polimerización lo ha descrito F.T. Ogle (25).

d) Catalizador.

En la producción de SBR a bajas temperaturas un número de combinaciones de catalizador han sido usadas para la reacción de polimerización.

1) Aquellos en el cual un hidróxido o hidroperóxido es el compuesto clave. Estos son usados en formulaciones redox los cuales incluyen una combinación de un oxidante, un reductor y un catalizador de la oxidación. El peróxido o el hidroperóxido es el oxidante. El catalizador de la oxidación es un material tal como un compuesto de hierro. El reductor puede ser glucosa u otro compuesto polihidroxi-oxidables, o puede ser un mercaptano.

2) Aquellos en los cuales un diazotioeter es el compuesto clave. Puede ser usado solo o en combinación de un ferrocianuro soluble en agua.

3) Aquellos en los cuales el compuesto clave es una poliamina--polialquileno. Se usa en combinación con un hidroperóxido.

Una variedad de tipos de reactor han sido usados para la copolimerización de butadieno-estireno. Un tipo convencional es un recipiente forrado de vidrio y cubierto por una chaqueta de agua. Un reactor típico de planta puede tener una capacidad de 3 700 galones y ser diseñado para trabajar a 125 psi de presión. El reactor usado en un proceso intermitente es como el de la figura II.3.

Reactores tubulares han sido propuestos para una conducción continua de la reacción de polimerización, estos tipos de reactores se describen en (29,30). Otro reactor continuo del tipo tanque agitado se describe en (31).

#### e) Descripción del proceso.

El proceso que se describiré a continuación es el usado por la planta de Hules Mexicanos, la figura II.5. muestra un diagrama de flujo simplificado (32).

Las materias primas, estireno y butadieno, se reciben en el patio de tanques de almacenamiento de monómeros por diversos conductos.

El butadieno puede recibirse por carro tanque o por barco. En caso de transporte marítimo, se descarga el barco al almacenaje de Petroleos Mexicanos, quien lo bombea a la planta por una tubería de 4 pulgadas de diámetro. El estireno se bombea directamente a los tanques de almacenamiento de la planta de estireno de Petroleos Mexicanos. Existen también facilidades para conseguir el estireno por carro tanque.

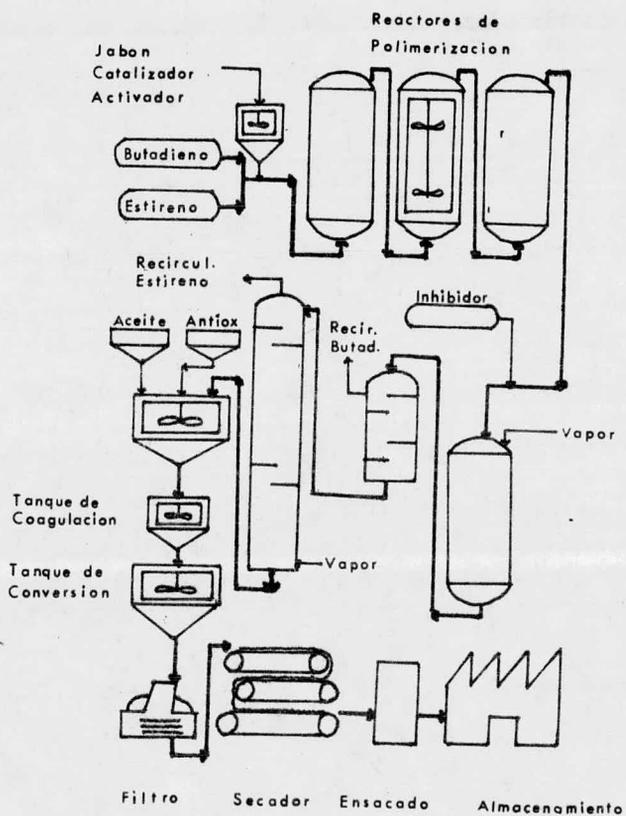


Fig. II.5. Proceso en Emulsión para la Producción de Hule sintético

Algunas de las materias primas auxiliares llegan por carros tanque o auto tanque a la zona de preparación de sustancias químicas. Las soluciones de jabón y activadores necesarios para el proceso de polimerización se preparan en esta zona. Estas soluciones junto con el butadieno, el estireno, el catalizador y el modificante, son introducidas en cantidades bien determinadas a los reactores provistos de agitación en la zona de reactores. Los monómeros y demás ingredientes son emulsificados en la solución de jabón para producir una mezcla íntima de todos los reactivos. Este paso es esencial en la iniciación, propagación y control de la reacción de polimerización.

Un sistema de refrigeración controla la temperatura de reacción, por disipación del calor generado por la reacción. Los tiempos de reacción varían entre 6 y 9 horas. El producto de la reacción es líquido lechoso conocido comunmente como látex, en el cual el hule esta presente en finísimas partículas.

Tan pronto como una determinada proporción de la cantidad de monómero utilizada ha sido convertida en polímero, la reacción es detenida por un parador. Se bombea entonces el látex hacia la zona de recuperación donde el butadieno por destilación flash y el estireno por destilación fraccionada son separados y recirculados hacia la zona de tanques del almacenamiento de monómeros. El látex pasa a la zona de almacenamiento y mezcla de látex.

El paso siguiente, que se lleva a cabo en la zona de terminado, consiste en la adición de un antioxidante estabilizador, que se añade en forma de emulsión al látex. En esta etapa también se añade una emulsión de aceite extendedor si se está produciendo un hule oleoextendido. La mezcla del látex y sus adiciones se coagula por medio de un ácido y salmoera, para producir una suspensión de miga--

jas de hule. Se separa después el agua de estas migajas por medio de etapas de filtrado, lavado y refiltrado eliminando al mismo tiempo la sal y el ácido residuales. Finalmente, se saca las migajas en grandes túneles de secado. Calentándolas por vapor y las migajas secas son comprimidas para producir bolas y pacas, las que son colocadas en envoltorios adecuados.

El agua de desecho que procede de la etapa de coagulación contiene sal, partículas de hule y ácido sulfúrico. Antes de poder descargarla al Golfo de México, debe eliminarse la presencia de hule y ácido sulfúrico, para evitar la contaminación. Esta etapa de purificación se efectúa por medio de la neutralización del ácido sulfúrico -- en el efluente con sosa caústica y la eliminación del hule pasando el efluente a través de una serie de separadores (33).

#### f) Recuperación del producto.

Una vez que al efluente del reactor se le añade el antioxidante, el butadieno se recupera en un tanque flash recirculándose, el estireno se recupera en una torre agotadora saliendo por el domo. Este proceso lo describe R.A. Garlicher y col. (34).

#### II.14. Proceso de polimerización en solución.

Varias técnicas han sido desarrolladas para la producción de hules estireno-butadieno en forma estereoregular por polimerización en una solución de hidrocarburo usando un catalizador organometálico.

Esto da un nuevo polímero utilizando un máximo de facilidades -- existentes para la preparación de monómeros, el proceso de éstos polímeros emplea operaciones las cuales representan solo una modificación y no una revolución de las técnicas existentes.

La solución de SBR puede ser preparada en dos formas estereoregulares, como copolímero al azar o como un copolímero en bloque (35), -

dependiendo de las condiciones de polimerización.

a) Alimentación.

Varios materiales afectan a los catalizadores organolitio (41). - Esos materiales incluyen, dióxido de carbono, oxígeno y agua. Es deseable por tanto, que los monómeros estén libres de esos materiales tanto como de otros que tienden a inactivar el catalizador. Cualquiera de los recursos conocidos para remover tales contaminantes puede ser usado. Además, es preferible que el diluyente usado en el proceso este libre de impurezas tales como agua, oxígeno y otros. En ésta conexión se debe remover aire y humedad de los recipientes en los cuales se llevará a cabo la reacción. Aunque es preferible hacer la polimerización bajo condiciones anhidras, se entiende que algo de agua puede ser tolerada en la mezcla de reacción.

La velocidad de adición del monómero puede ser controlada en el solvente de polimerización de SBR para producir copolímeros al azar -- mas bien que copolímeros en bloque. Esto es activado por el control de la velocidad de adición del monómero de modo que son cargados a menor que la normal velocidad de polimerización bajo las condiciones de reacción empleada. Esta técnica da un polímero de aproximadamente --- 30-60% cis, 30-60% trans y 5% de isómero de vinil.

b) Reacción química.

La temperatura de reacción varía de  $-20^{\circ}\text{C}$ . a  $200^{\circ}\text{C}$ . prefiriendose un intervalo de 50 a  $120^{\circ}\text{C}$ . en la preparación de copolímero de bloque de butadieno-estireno de acuerdo con R.L. Huxtable (36). La temperatura empleada dependerá tanto de los monómeros como de los iniciadores usados en la preparación del polímero. Por ejemplo se ha encontrado que los iniciadores organolitio proveen resultados mas favorables a -- temperaturas elevadas mientras que a bajas temperaturas se requiere --

otro indicador de la polimerización con otro metal alcalino de acuerdo con G. Kraus.

La presión de operación será aquella que mantenga a los monómeros en fase líquida. La presión dependerá de los materiales que van a ser polimerizados, del diluyente que va a ser empleado y la temperatura a la cual será la polimerización.

El tiempo de residencia en un proceso continuo, variará en un límite alto dependiendo de las variables como la temperatura de reacción, presión, cantidad de catalizador, monómeros usados para la polimerización. En un proceso continuo el tiempo de residencia será de segundos a una hora. Cuando se use un proceso intermitente, el tiempo de reacción de hasta 24 horas o más, aunque es generalmente menor a las 24 horas de acuerdo con R.P. Zelinski (38).

El proceso se lleva a cabo en presencia de un hidrocarburo diluyente seleccionado de un grupo de hidrocarburos aromáticos, parafínicos o cicloparafínicos conteniendo de 3 a 12 átomos de carbono por molécula. Ejemplos de diluyentes que pueden ser usados incluyen propano, isobutano, n-pentano, isooctano, n-dodecano, ciclohexano, metil-ciclohexano, benceno, tolueno, xileno y etilbenceno. Se pueden usar dos o más mezclas de éstos hidrocarburos.

La cantidad de diluyente empleada en el proceso depende del peso molecular del polímero que será preparado tanto como del diluyente empleado. Es importante mantener un buen contacto de los monómeros que al reaccionar forman el polímero. Un amplio rango tiene el diluyente y es de 200 a 2 000 partes en peso por 100 partes de monómero, el intervalo preferido es de 300 a 1 500 partes de diluyente.

#### c) Modificadores de la reacción.

Se encontró que la formación de gel y el tapamiento del reactor

debido a la formación de un gel puede ser eliminada llevando a cabo una polimerización continua de los monómeros que copolimerizan en bloque en presencia de 0.1 mol. de un haluro alcalino por mol. de iniciador de la polimerización de acuerdo con R.L. Ustable (36).

En la manufactura de copolímeros de estireno y butadieno, la adición de 0.005 a 50% de material polar al solvente, produce un copolímero al azar más que un copolímero de bloque de acuerdo con R.P. Zelinski (38). Esta técnica produce un polímero que tiene la siguiente distribución isométrica: cis 20%; trans 35%; vinil 25%.

Tetrahidrofurano es un típico aditivo polar que se usa cuando se desea un copolímero en bloque, la reacción de polimerización se realiza en un diluyente libre de materiales polares. Es necesario por tanto remover todo el solvente polar empleado en la preparación del compuesto organolitio anteriormente a su uso en el proceso.

#### d) Catalizador.

Compuestos organolitios, tales como el n-butil litio son usados como catalizadores para la preparación de SBR en solución, la cantidad de catalizador o iniciador que se usa puede variar. En general, menos de 0,05 partes en peso de compuesto organolitio por 100 partes en peso de monómero se emplea en el proceso. El límite superior del compuesto organolitio se usará dependiendo primordialmente de la viscosidad para el polímero producido decrece con el incremento de la cantidad de compuesto organolitio. Un nivel de cantidad de catalizador preferido es de 0.07 a 2.0 partes de organolitio por 100 partes en peso de monómeros totales cargados en la zona de polimerización. Otro tipo de catalizador organometálico usado en la polimerización en solución, es uno formado por la reacción de litio metálico con negro de humo y luego con un hidrocarburo halogenado tal como el cloruro -

de butil de acuerdo con G. Pampus (39).

Un reactor tubular se puede emplear para la manufactura de SBR en solución como el citado por R.L. Huxtable (36). Una solución de n-butyl litio en n-hexano se hace por separado en un tanque después ésta solución se bombea hasta el reactor tubular. Solvente adicional y una mezcla de 25-75% en peso de butadieno y estireno se introduce en el reactor junto con la solución preparada.

e) Recuperación del producto.

Después de que la polimerización se lleva a cabo al grado deseado el catalizador remanente puede ser desactivado por la adición de materiales de alcohol etílico, alcohol isopropílico u otros parecidos. Se prefiere generalmente añadir solo una cantidad del material desactivante del catalizador que sea suficiente para desactivar el catalizador sin causar la precipitación del polímero disuelto. Se encontró también la ventaja de añadir un antioxidante tal como el --fenil-beta-naftilamina, a la solución del polímero antes de su precipitación. Después de la adición del agente desactivante del catalizador y el antioxidante, el polímero puede ser precipitado por la adición de un exceso de alcohol etílico o isopropílico.

El polímero precipitado puede ser recuperado por precipitación decantación o algo similar, para purificarlo el polímero puede ser redisolto en un solvente conveniente y después precipitarse por la adición de un alcohol. Poco después, el polímero se recupera por varios pasos de separación y se seca. El diluyente y el alcohol pueden ser separados por ejemplo, por destilación fraccionada y reusados en el proceso.

f) Descripción del proceso.

La figura II.6. muestra un diagrama de flujo simplificado del -

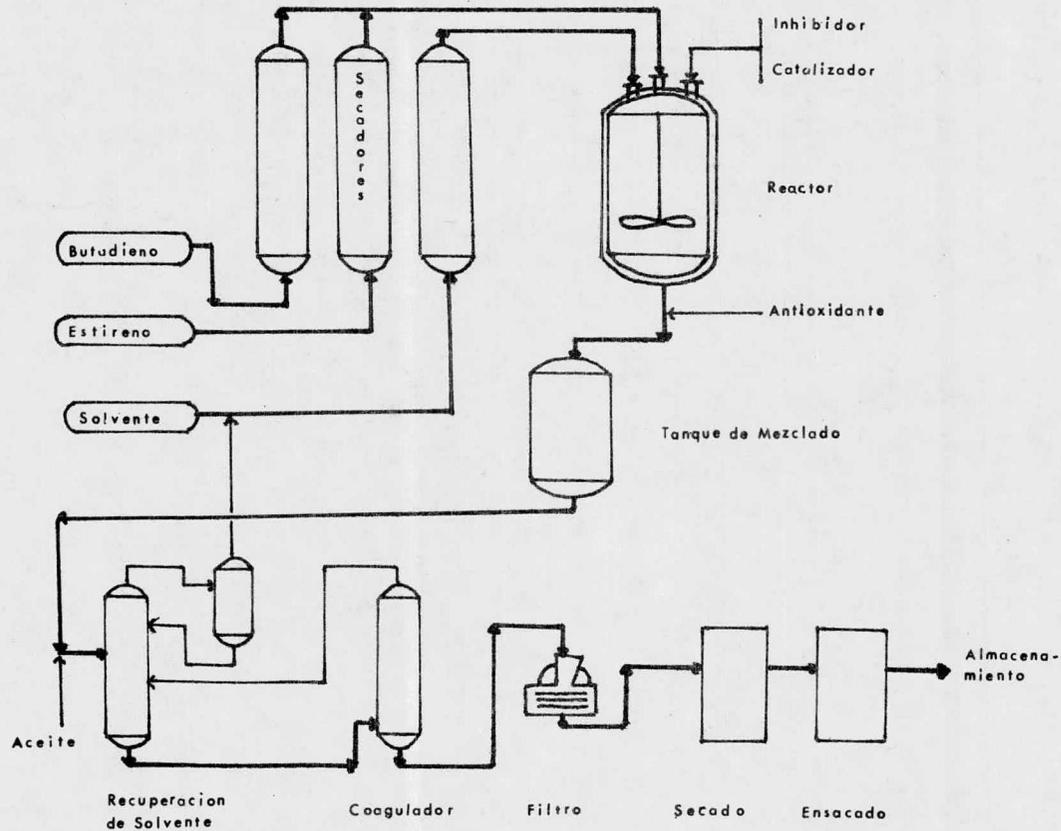


Fig. II.6. Proceso en Solución para la producción de Hule sintético

proceso de polimerización en solución (40).

Los monómeros butadieno y estireno junto con el solvente pasan por unas torres de secado y se alimentan al reactor. También se introduce en el reactor una solución de n-butil litio en n-hexano. La proporción de los monómeros butadieno y estireno es de 75:25 en peso, aunque puede variar según el tipo de hule deseado. Al efluente del reactor que ha logrado una conversión de 60-70% se le agrega un antioxidante pasando a un tanque de mezclado. Una vez que se ha mezclado el antioxidante con el látex pasa a una torre de recuperación del solvente en donde se le añade previamente un aceite extendedor, si se quiere un hule oleoextendido. El solvente recuperado pasa a los tanques de alimentación de solvente. El látex que sale por los fondos de la torre de recuperación se lleva todavía algo de solvente, este solvente se recupera por el domo de un coagulador a donde pasa el látex. El efluente del coagulador que es el hule se filtra en un filtro continuo, pasando después por un secador para su terminado. El producto así obtenido se ensaca y se almacena.

#### II.15 Localización y capacidad de la planta.

Existen dos plantas para la elaboración de hule sintético en México. Una es la de Hules Mexicanos que usa el proceso de emulsión, con una tecnología de la Polymer Corporation de Canada. Otra es la Negromex que usa el proceso en solución, con tecnología de la Phillips Petroleum Co. de los Estados Unidos. La localización y capacidad de la planta, así como el año en que se entró en operación se muestran en la tabla II.4.

#### II.16. Producción y consumo.

La serie histórica de la producción, importaciones, exportaciones y consumo aparente, se muestran en la tabla II.5 a partir de 1970.

TABLA II.4.

PLANTA	LOCALIZACION	CAPACIDAD INSTALADA (T/A)	AÑO EN QUE INICIO
HUMEX	Altamira, Tam.	44 500	1966
NEGROMEX	Salamanca, Gto.	45 000	1967

Fuente: A.N.I.Q. 1974.

TABLA II.5.

AÑO	PRODUCCION (TON)	IMPORTACION (TON)	EXPORTACION (TON)	CONSUMO APAR. (TON)
1970	33 000	506	1 207	32 299
1971	36 383	430	3 217	33 596
1972	41 353	370	4 609	37 114
1973	40 759	704	1 085	40 378
1974	38 889	9 266	4.5	48 150.5
1975	44 498	977	153	45 330
1976	51 529	789	1 078	51 240

Fuente: Dirección General de Estadística.  
Secretaría de Programación y Presupuesto.

#### II.17. Precio del hule sintético por Kiligrama.

La tabla II.6. muestra los precios de los diferentes tipos de hule producidos por HUMEX a partir de septiembre de 1974. La tabla II.7. muestra los precios de los diferentes tipos de hule producidos por NEGROMEX a partir de agosto de 1974. Por el decreto presidencial aparecido en el Diario Oficial del 3 de octubre de 1974, -- los precios de hule sintético entraron bajo control de la Secretaría de Comercio.

TABLA II.6.

TIPO DE HULE	PRECIO (en pesos)		
	Septiembre (1974)	Marzo (1976)	Marzo (1977)
HUMEX 1006	13.18	13.95	19.35
HUMEX 1500, 1502, 1509.	13.11	13.85	19.20
HUMEX 1012	14.46	15.32	21.20
HUMEX 1712	10.20	10.80	14.95
HUMEX 1714	9.73	10.30	14.30
HUMEX 1778	10.37	10.95	15.20
HUMEX N3447, N3445-C N3483.	12.51	13.25	18.35
HUMEX N3883	25.27	26.70	37.00

Fuente: Secretaría de Comercio.

TABLA II.7.

TIPO DE MULE	PRECIO (en pesos)		
	Agosto (1974)	Mayo (1976)	Mayo (1977)
SOLPRENE 200	14.22	15.58	21.58
SOLPRENE 277	11.20	12.41	17.19
SOLPRENE 303	12.01	13.25	18.36
SOLPRENE 410	11.36	12.53	17.36
SOLPRENE 476	9.43	13.79	19.10
SOLPRENE 1204,1205,1206.	12.56	13.85	19.19
SOLPRENE 375,381.	9.87	10.95	15.17
SOLPRENE 377,380.	9.70	10.80	14.96
SOLPRENE 379	9.24	10.30	14.27

Fuente: Secretaría de Comercio.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Natural Rubber Bureau Release, 4(1951).
- 2) Memmler D.K. The Sciences of Rubber; Dun Brook R.F., and Morris - V.N., Reinhold, N.Y., 1934, pag. 12.
- 3) Arch. Rubbercult. Ned-Indie, 5(1949), pages. 316,346,366,371.
- 4) Fint C.F. The Chemistry and Technology of Rubber Látex, Van Nostra dem, N.Y. 1938. pag. 62.
- 5) J.J. Nivert (Research Laboratories, Firestone Tire and Rubber Co. Akron, Ohio.) and E.M. Glymph and C.E. Snyder (Firestone Natural Rubber and Látex Co. Akron, Ohio.) Preliminary Economic Analisis of guayule Rubber Production. Congreso de Hule de Guayule, Saltillo, Coah. México. 1977.
- 6) Hule Mexicano y Plásticos, 20(1); 8-11(1975).
- 7) Kewnuth W. Teyler. Guayule an American Source of Rubber. Economic Botany. pag. 255-273(1955).
- 8) Monteforde R. Guayule, Alternativa para el desarrollo. Ciencia y desarrollo. 4; 11(1975).
- 9) Hauser E.A. and Le Beau D.S., Studies in Copounding Guayule Rubber I. India Rubber World. 106(8); 1942.
- 10) Hauser E.A. and Le Beau D.S., Studies in compounding Guayule Rubber II. India Rubber World. 107(3); 1943.
- 11) Hauser E.A. and Le Beau D.S. Studies in Compounding Guayule Rubber III. India Rubber World. 107(4); 1943.
- 12) Estudio morfológico del guayule por espectroscopía electrónica de barrido, trabajo conjunto Instituto of Polymer Science-CIQA, en preparación.
- 13) Campos López E., y Palacios, J.J. Polymer Sci. Polymer Chem. 14,- 15,16, 1979.
- 14) Rogers T., Estudios realizados en la Good Year Tire Co. en colaboración con el CIQA, comunicación privada, abril, 1977.
- 15) Campos López E. y Angulo J.L., J. Polymer Sci. Polymer Lett, 14; 649(1976).
- 16) Ponce Vélez M.A. y Campos López E., Thermal Oxidation of Natural Rubbers, J. Appl. Polymer Science (en prensa).
- 17) Gallegos J.L.A. y Ponce V.M.A. y Campos López E., Refractive Index of guayule Rubber Solutin Polymer, J. Appl. Polymer Science (en prensa).

- 18) Orta A. y Salazar J. Estudios Desonómicos de Dos Regiones Guayule ras. Comisión Nacional de Zonas Áridas, México, D.F., 1976.
- 19) Guayule. Boletín informativo. CONACYT. México, D.F., 1972.
- 20) De la Cruz J.A., Reporte del Estudio Preliminar del Guayule en la parte norte del Estado de Zacatecas, sur de Coahuila, sureste de Durango, suroeste de Nuevo León y norte de San Luis Potosí. INIF, México, D.F., 1977.
- 21) Gómez H., Determinación de la época y método adecuado para la explotación del guayule en México. UAAAN, Saltillo, Coah. Marzo de 1977.
- 22) Investigación personal directa en el CIQA.
- 23) Whitby G.S. Synthetic Rubber, Wiley and Sons, Inc., N.Y. 1954. -- Cap. 7, pags. 175-189.
- 24) C.W. Mertz (To Phillips Petroleum Co.), U.S. Patent 3 073 808 --- (15 de enero de 1963).
- 25) L.A. Bliss (To Phillips Petroleum Co.), U.S. Patent 2 928 813 (15 de marzo de 1960).
- 26) C.F. Fryling. Ref. 6, Cap. 8.
- 27) L.W. Pallock (To Phillips Petroleum Co.) U.S. Patent 2 998 404 (29 de agosto de 1961).
- 28) W.C. Hewitt (To Phillips Petroleum Co.) U.S. Patent 2 745 823 (15 de mayo de 1956).
- 29) F.T. Ogle (To Phillips Petroleum Co.) U.S. Patent 3 254 965 (7 de junio de 1960).
- 30) J.W. Harrison (To Houdry Process Corp.) U.S. Patent 2 465 363 (29 de marzo de 1949).
- 31) J.H. Carroll et al (To Phillips Petroleum Co.) U.S. Patent 2 884 408 (3 de febrero de 1959).
- 32) J.A.R. Bennett. Chem. Ind. (London) 1961, pag. 410.
- 33) Hule Mexicano y Plásticos. 21(11); 11-13(1966).
- 34) R.A. Gerlicher et al (To Copolymer Rubber and Chemical Corp.) U.S. Patent 2 927 065 (1 de marzo de 1960).
- 35) G. Holden et al (To Shell Oil Co.) U.S. Patent 3 231 635 (25 de enero de 1966).
- 36) R.L. Huxtable (To Phillips Petroleum Co.) U.S. Patent 3 198 774 - (3 de agosto de 1965).

- 37) G. Kraus et al (To Phillips Petroleum Co.) U.S. Patent 3 084 141\_ (2 de abril de 1963).
- 38) R.P. Zelinski (To Phillips Petroleum Co.) U.S. Patent 2 975 165 - (14 de marzo de 1961).
- 39) G. Pampus and H. Groene (To Farbenfabriken Bayer) U.S. Patent --- 3 072 621 (8 de enero de 1963).
- 40) Tecnología en Elastómeros. Grupo Hulero Mexicano. A.C. Sin fecha.
- 41) J.N. Shart (To Phillips Petroleum Co.) U.S. Patent 3 094 512 (18\_ de Junio de 1963).

## CAPITULO TRES

### Introducción.

#### III.1. Operaciones básicas en la fabricación de llantas.

- a) Vulcanización.
- b) Reforzamiento.

### LLANTAS

#### III.2. Clasificación de las llantas.

#### III.3. Fibras textiles para llantas.

#### III.4. Proceso de construcción de llantas.

- a) Masticación.
- b) Mezclado.
- c) Calandrado.
- d) Curado.
- e) Pruebas de laboratorio.
- f) Pruebas en carretera.

#### III.5. Localización de las plantas.

#### III.6. Producción y valor de la producción de llantas.

#### III.7. Principales tipos de llantas y su precio.

#### III.8. Inversiones en Plantas Llanteras

## CAPITULO TRES

### INDUSTRIA LLANTERA

#### Introducción.

La primera llanta de hule que se tiene noticia es una llanta de carruaje exhibida en 1851 en Londres. La primera patente de llantas corresponde a R.W. Thomson en 1867. Las primeras llantas de bicicleta se usaron en el año de 1870.

Las llantas de hule duro se usaron hasta los años veintes, aunque desde principios de siglo se empesaron a usar las llantas neumáticas. La fabricación de automóviles en serie dió un gran impulso a la fabricación de llantas, y desde ese tiempo la industria llantera se desarrolla paralelamente a la automotriz.

Aunque Thomson patentó la primera llanta, éste diseño no fue usado comercialmente. Fue J.B. Dunlop al que se le reconoce como inventor de las llantas, que con su patente de 1888 en que se describe la fabricación de una llanta neumática, puso las bases de la industria llantera.

En el mismo año W.E. Bartlett y T.B. Jeffrey patentaron la llanta neumática llamada de "talón", este tipo de diseño prevaleció durante los siguientes 20 años. Estas llantas fueron de sección transversal omega, con un reborde (pestaña) de hule que se fijaba por el borde.

También por el año de 1888 se fundó la Pneumatic Tyre Co., que más tarde se llamó la Dunlop Rubber Co. Esta compañía fabricaba las originales llantas Dunlop que no usaban pestaña y eran pegadas con cemento por el borde.

En 1905 las llantas de cara recta con pestaña de cuerda metálica fueron introducidas en el mercado por la Goodyear Tire and Rubber Co., pero tuvieron que pasar varios años para que desplazaran a la de "talón" (1).

En los años siguientes la industria llantera enfocó sus innovaciones a la disminución de la presión a que eran infladas las llantas neumáticas, mejorando el tubo de hule interno, hasta llegar a las -- ahora llamadas llantas sin cámara.

La primera llanta que se fabricó en México la hizo la compañía Popo el 10 de junio de 1925.

### III.1. Operaciones básicas en la fabricación de llantas.

#### a) vulcanización.

Se llama vulcanización al proceso externo que se aplica a hules y elastómeros en general; internamente se caracteriza por la obtención de entrecruzamientos o ligaduras entre cadenas de elastómero -- "crudo", mismas que reducen su movilidad relativa proporcionalmente al número de dichos entrecruzamientos.

En un principio la vulcanización se hacía por medio de calor, - (de ahí su nombre) y en presencia de azufre; hoy es posible hacerla sin la presencia de éstos dos factores.

Para la vulcanización es necesario el agente vulcanizante cuya función es anclar esporádicamente las cadenas de elastómero en forma proporcional a su contenido, y al grado de vulcanización hasta llegar a un límite pasado el cual el aumento de inmovilidad se logra a base del entorpecimiento lineal de las mismas cadenas, hasta llegar a formar un plástico no elastómero llamado hule duro o ebonita.

El requisito principal que debe cumplir un agente vulcanizador

es que efectue la vulcanización después de exponerlo a la temperatura conveniente.

Una composición básica que va a ser vulcanizada, aparte del agente vulcanizante (azufre) y del hule, necesita un activador de la vulcanización que es generalmente un óxido metálico (óxido de zinc), este activador a su vez para obrar con mayor eficiencia requiere de ácidos grasos como el esteárico.

Un acelerador comunmente usado en las composiciones de hule para vulcanizar es el disulfuro de benzotiazol (MBTS), por ser un acelerador de buen envejecimiento. Para mejorar más la resistencia al deterioro, también se usan antioxidantes en las mezclas, tales como el N fenil 2 naftilamina (PBNA).

A continuación se da una composición de hule para vulcanizar, que puede servir como base a innumerables variaciones:

Hule Natural	100.0	MBTS	1.0
Azufre	2.5	Acido esteárico	1.0
Oxido de Zinc	1.0	PBNA	1.0

Para mayor información del proceso de vulcanización, consultar las referencias (2,3,10,11,12,13); por lo que se refiere a agentes vulcanizantes, aceleradores, activadores, antioxidantes, etc., consultar las referencias (4,5,6,7,8,9).

#### b) Reforzamiento.

Reforzamiento es la operación que sufre el hule al agregársele las cargas reforzantes de manera que éstas mejoren sus propiedades mecánicas.

Un agente reforzante es aquél que mejora el módulo y las propiedades de resistencia (resistencia a la ruptura, abrasión y desg

re) del compuesto final vulcanizado.

Existe un acuerdo casi general sobre la clasificación de las cargas reforzantes, éstas están divididas en tres grupos:

- Negros de humo (17,18,19,20,21,22).
- Cargas reforzantes no negras orgánicas.
- Cargas reforzantes no negras inorgánicas (23).

Las propiedades que caracterizan a las cargas reforzantes son; el tamaño de partícula, área superficial y actividad física y química de la superficie. Entre menor es el tamaño de la superficie mayor es el reforzamiento. El efecto de reforzamiento de varias cargas se muestra en la tabla III.1.

El principal reforzante en la industria llantera es el negro de humo, en la tabla III.2. se muestran las características principales de los negros de humo comerciales. Tanto HUMEX como NEGROMEX fabrican negro de humo. Para mayor información sobre reforzamiento ver las referencias (2,14,15,16).

## LLANTAS

Las partes principales de que consta una llanta se muestran en la figura III.1., éstas son: el piso principal, la base del piso, pared lateral, pestaña aislante, pestaña de cuerda, estufilla, línea interior y cuerdas.

Por el ensamblaje de la capa textil las llantas se clasifican en tres grupos:

- Sesgadas.
- Radiales.
- Sesgadas fajadas.

a) Llantas de construcción sesgada.

Las llantas sesgadas tienen un número de pliegues uniforme, con

TABLA III.1.

EFFECTO DE REFORZAMIENTO DE VARIAS CARGAS (3)

Carga	Partes/100 de hule	Fuerza de tensión (psi)	Elongación a la rotura (%)	Módulo 400% (psi)	Resistencia relativa a la abrasión	Resistencia relativa al rasgado
Nada	---	3 400	680	400	190	240
Talco	60	2 500	600	700	70	90
Oxido de Zn.	130	4 000	600	1 300	180	320
Carbonato de Mg.	50	4 200	620	1 500	120	150
Negro térmico	40	4 300	690	800	130	500
Negro de canal	40	4 700	620	2 300	260	760

Mezcla básica: hule natural 100; azufre 0.5; selenio 0.5; ,ercaptobenzotiazol 0.5; disulfuro de tetrametiltiuram 0.5; óxido de zinc 5; ácido esteárico 1; antioxidante 1.

TABLA III.2.

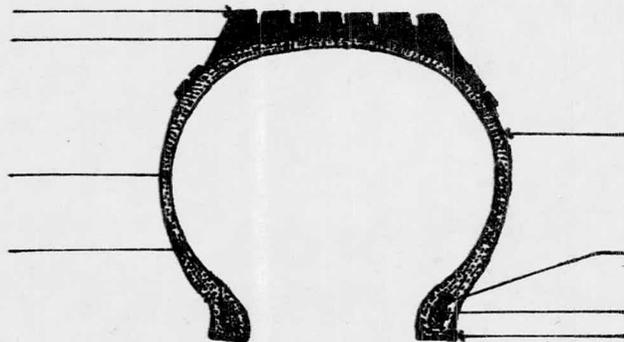
## CARACTERISTICAS DE LOS NEGROS DE HUMO COMERCIALES (26)

Símbolo	Tipo	Diámetro de part. (A)	Area superficial. (m <sup>2</sup> /g)	Rugosidad (factor)	pH
LS-SAF	De horno; baja estructura, superabrasión.	180	170	1.1	7
SAF	De horno; superabrasión.	190	150	1.0	7
LS-ISAF	De horno; baja estructura, superabr. inter.	200	140	1.0	7
ISAF	De horno; sup. intermedia.	220	120	0.93	7
HS-ISAF	De horno; alta estructura, sup. intermedia.	220	115	0.89	7
MPC	De canal; Proceso medio.	240	120	1.0	4
EPC	De canal; proceso facil.	270	110	0.96	5
LS-HAF	De horno; baja estructura, alta abrasión.	250	85	0.77	7
HAF	De horno; alta abrasión.	290	80	0.73	7
HS-HAF	De horno; alta estructura, alta abrasión.	290	75	0.68	7
FF	De horno; fino.	330	70	0.88	8
FEF	De horno; rapida extrusión.	360	55	0.75	8
HMF	De horno; alto módulo.	540	40	0.73	8
APF	De horno; todo propósito.	600	35	0.80	9
GPF	De horno; propósito gral.	600	30	0.74	9
SRF	De horno; semireforzante.	700	28	0.74	9
FT	Térmico; fino.	1 500	14	0.94	8
MT	Térmico; medio.	5 000	6	0.89	8

Piso Principal  
Base del Piso

Línea Interior

Cuerdas



Pared Lateral

Pestaña Aislante

Pestaña Metálica  
Estuquilla

Fig. III.1. Partes de una llanta

cuerdas en ángulo de  $30-38^{\circ}$  de la línea central del piso. Las llantas sesgadas para camiones de pasajeros comunmente tienen 2 o 4 capas, con 6 para servicio duro. Llantas para camiones foráneos tienen construcción de 6 a 12 capas, aunque hay tipos especiales de llantas que pueden llegar a tener 30 o más capas.

b) Llantas de construcción radial.

En las llantas de construcción radial se acomodan una o dos capas en un ángulo de  $90^{\circ}$  de la línea central del piso, añadiéndose un cinturón de alambre o textil bajo el piso. Este tipo de llanta le introdujo la compañía francesa Michelin en 1946. Este tipo de construcción da una diferente interacción entre la llanta y el camino, resultando un menor desgaste de la llanta. El manejo del automóvil es más suave que con las llantas de construcción sesgada.

c) Llantas de construcción sesgada fajada.

Las llantas de construcción sesgada fajada son de desarrollo reciente. Estas llantas tienen ventaja como las llantas radiales en desgaste de piso y tracción, pero el cambio de sesgado a sesgado fajado requiere menos cambios en los sistemas de suspensión de los automóviles y en las máquinas de construcción.

### III.12. Fibras textiles para llantas.

La fuerza de una cubierta de una llanta esta determinada por las propiedades de las cuerdas usadas en el cuerpo o carcaza. En un principio la cuerda usada era el algodón, de preferencia la variedad egipcia. Después de la II Guerra Mundial el rayón reemplazó al algodón, debido a su más alta tenacidad, la cual permite hacer cuerdas más delgadas. En la actualidad el rayón ha sido desplazado por las cuerdas de nylon y poliéster. La relación fuerza-peso del nylon junto con las otras propiedades hace posible que éste se use para llan-

tas de camión, de avión e industriales.

También recientemente se ha usado la fibra de vidrio en cinturones para llantas radiales o sesgadas fajadas. El cable de acero también se usa para este propósito.

La manufactura de llantas comienza en la preparación de la fábrica, es decir, hilería, torcedura y alicación de adhesivos a las cuerdas antes de la capa de hule. Un proceso de hiladería, trazado y torcedura de cuerdas textiles para llantas se describe en (24).

Para lograr una buena cura para el hule, las cuerdas textiles para llantas se deben tratar con adhesivos antes de combinar la capa textil con la carcasa o base del piso. Los adhesivos que más se usan son sistemas acuosos que contienen látex de hule, resorcinol y formaldehído, los cuales se dejan reaccionar parcialmente antes de aplicarse. Las cuerdas se tratan con adhesivos antes de retorcerse.

En la tabla III.3. se muestran los componentes de las llantas - su composición y sus principales requerimientos.

### III.13. Proceso de construcción de las llantas.

En algunos casos los materiales para construcción de llantas requieren tratamiento previo. Por ejemplo, puede ser necesario secar los pigmentos; también el hule se acostumbra lavar para eliminar materiales extraños. El hule, sobretodo el natural requiere una masticación previa para hacerlo más adaptable a las fases de elaboración siguientes.

#### a) Masticación.

El hule natural bruto posee una alta viscosidad por lo que es necesario disminuirla por una masticación antes de la operación de mezcla. La masticación se puede hacer en un molino de rodillos, en una mezcladora interna o en un plastificador helicoidal.

- Molino de rodillos. Consiste en unos rodillos horizontales -

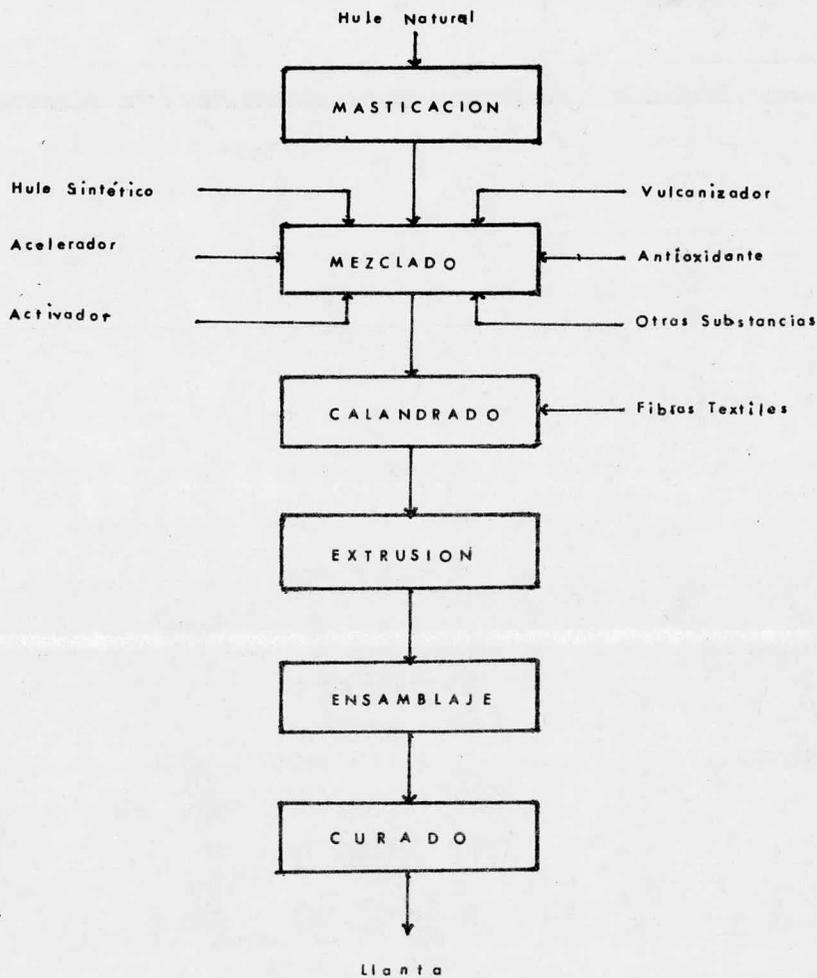


Fig. III.2. Construcción de una llanta

TABLA III.3.

PROPIEDADES Y COMPOSICION DE LOS COMPONENTES DE LAS LLANTAS (1)

	PISO			CUERPO		
	PRINCIPAL	PISO BAJO	PARED LATERAL	PLIEGUES	LINEA INTERNA	PESTAÑA AISLANTE
Requerimientos	Resistencia al desgaste, al aumento del corte, al desgarramiento, al patinado.	Baja hasta resis, resistencia al calor.	Resistencia a la intemperie, a la ruptura.	Adhesión a cuerdas y piso, baja histeresis, resistencia al calor.	Baja permeabilidad al aire, adhesión a los pliegues, resistencia a la dobléz por fatiga.	Rigidez, adhesión a la pestaña de cuerda y pliegues
Polímeros	Estireno-butadieno Polibutadieno Hule natural Polisopreno.	Hule natural, poliisopreno, polibutadieno, estireno-but	Estireno-but Neopreno Etileno-propileno termopolímero.	Hule nat Polisopreno. Polibutadieno. Est-but.	Hule butilclorado. Hule natural Estireno-but.	Estireno-but. Hule natural.
Pigmentación (reforzamiento)	SAF HAF HS-HAF ISAF SiO <sub>2</sub>	HAF-LS	GPF FEF SiO <sub>2</sub>	GPF SRF SiO <sub>2</sub>	GPF FT MT	SRF
Color			TiO <sub>2</sub> ZnO <sub>2</sub> Colorantes			

paralelos que giran en direcciones opuestas, de forma que el material es trabajado al pasar entre los rodillos. El rodillo posterior gira más deprisa que el delantero en una relación de 1.1 a 1.0 y 1.5 a 1.0. El espacio entre los rodillos se puede variar a voluntad regulando la posición del delantero. Los rodillos son huecos y por su interior se hace circular agua fría o caliente o vapor, para mantener la temperatura deseada durante la operación. Para masticar el hule los rodillos se mantienen a baja temperatura, y el hule pasa entre los rodillos repetidas veces. Después de varias pasadas, el hule formará una tela bastante coherente que se adhiere al rodillo delantero para pasar de nuevo entre los rodillos. Posteriormente el operador lo trabaja durante el tiempo señalado verificando frecuentemente cortes de izquierda a derecha y de derecha a izquierda con objeto de conseguir la mezcla y que el hule del banco situado delante del molino pase entre los rodillos. Al final del tiempo prescrito por la masticación, el hule se separa en forma de grandes láminas y se enfría antes de epilarlo sobre los polines.

- Mezclador interno Banbury. Este mezclador usa paletas que no son de sección transversal uniformes en toda su longitud, sino que están diseñadas para forzar el material de un extremo a otro alternadamente en ambas direcciones hasta conseguir la mezcla completa. Este mezclador consta de dos rotores que giran a distinta velocidad. Agua o vapor pueden circular a través de los rotores huecos, y puesto que el casco tiene doble pared, puede realizarse la refrigeración o el calentamiento. Se carga el hule directamente en la cámara de mezcla, se baja el pisón para ejercer presión sobre la carga y se efectúa la masticación con el tiempo escrito. Después del período de masticación, el hule se descarga por una puerta situada en el fondo del -

mezclador en un molino de dos rodillos que realiza el laminado del hule.

- Plastificador de Gordon. El plastificador de Gordon esta idea do para la fase de masticación previa. Es una gran máquina helicoidal que recibe el hule por un tolva. Realiza la masticación por medio de un tornillo sin fin y espulsa el hule por extrusión en forma de cilindro que es cortado por una cuchilla y abierto en una cinta continua, esta se enfría y se corta en pequeños trozos, que se aplatan sobre polines. El tornillo sin fin es hueco para hacer circular agua o vapor, y el cilindro está revestido con una camisa para este fin. Cuando se desea un hule muy blando, se hace pasar una o más veces por una máquina.

Si se quiere acelerar el proceso de masticado se puede añadir un plastificante químico. También es conveniente mezclar varios hules para mayor uniformidad de los materiales empleados. El SBR normalmente tiene una viscosidad baja por lo que no se mastica, aunque algunos prefieren ablandarlo por alguno de los 3 métodos descritos anteriormente.

#### b) Mezclado.

La operación de mezcla es una de las más importantes fases por la que deben pasar las composiciones de hule. Las fases del proceso subsiguientes a la mezcla dependen de que ésta sea suficiente y uniforme; la calidad del producto final está directamente influida por la clase de muestra realizada.

Los fines de la operación de la mezcla son: 1) hacer una composición uniforme de todos los componentes; 2) hacer una buena dispersión de los pigmentos evitando los grumos; 3) producir lotes consecutivos del mismo grado de dispersión y de viscosidad.

Todas las operaciones de mezclado son intermitentes. Son dos -



tipos de mezclas: la mezcla de molino y la mezcla de Banbury.

- Mezcla en molino. Para un molino de 84 pulg., con rodillos - de 4 pulg. de diámetro, el peso de la partida es de 200 lb. El molino se ajusta a 0.25 pulg. de espacio entre los rodillos, por los cuales se hace circular agua fría durante la operación. Después de varias pasadas, el hule se convierte en una lámina que se adhiere al - rodillo delantero y sigue pasando entre los rodillos. Se corta la - lámina a lo largo del rodillo en una y otra dirección dos veces para asegurar una buena mezcla con el hule que esta en el banco. Se añade el óxido de zinc, el PBNA, el ácido esteárico y el MBT. De nuevo se corta el hule dos veces para distribuir estos materiales en la -- mezcla.

Se abre un poco el molino y se añaden a la mesa lenta y alternativamente el negro de humo y el aceite. Esto da por resultado mayor concentración de negro de humo en la porción del hule cercana al centro del molino. Cuando el negro de humo se hamezclado y no hay visiblemente negro libre, se corta el hule en una y otra dirección dos - veces.

Puesto que el volúmen total de la partida a aumentado apresiamente por la adición del negro de humo y del aceite, la masa acumulada en el banco es mayor que al principio de la mezcla. Se aparta una porción de ella para reducir la masa a un tamaño que pueda -- circular y no permanecer inactiva. Se añade ahora el azufre, se añade de nuevo el material que fué separado y toda la masa se corta 6 - veces desde un extremo y otras desde el otro hasta lograr una mezcla completa.

- Mezcla en Banbury. Para un mezclador Banbury es generalmente ventajoso preparar partidas matrices de hule con uno o mas de los in

redientes menores, que así puedan ser añadidos luego con mayor facilidad. Se preparan mezclas de azufre y hule, MBT y hule, PBNA y hule por molienda previa en un molino abierto. El peso de la partida para mezclador de esta clase es de 1 000 lb. Se hace circular agua por los rotores y por la camisa de Banbury. Primero se carga la masa de hule y el PBNA, se levanta el pisón para cargar el negro de humo y el poxido de zinc. Se baja de nuevo el pisón levantando se añá el aceite y el ácido esteárico. Por último se descarga toda la mezcla.

Hay molinos de Banbury que mezclan automáticamente el material y lo descargan a un transportador que lo enfría y lo apila sobre polines.

Cada fabricante tiene preferencia por el orden de adición de -- los ingredientes y no todos estarían de acuerdo en que el procedi--- miento anterior fuese el mejor. Además, los procedimientos varían -- mucho para distintas composiciones y según los diferentes tipos de a paratos. Puesto que se usan miles de composiciones el número de pro cedimientos de mezclas se elevan a miles también.

a) Calandrado.

Este proceso tiene por objeto preparar el material en láminas re lativamente delgadas extenderlos sobre tela o incluirlo en telas por fricción. La calandria más sencilla consta de 3 rodillos paralelos\_ colocados uno sobre otro. Los intervalos entre los rodillos son --- ajustables. Los rodillos son huecos, pueden ser calentados o enfria dos, y moverse a distintas velocidades. Además, la velocidad del ci lindro superior e inferior, puede ser la misma que el central que -- suele girar con velocidad menor.

En la mayoría de los casos, la preparación del material lamina-

do se verifica acumulando multiples capas finas. Por ejemplo: 8 o 10 hojas de goma natural de hule pueden hacer un grosor total de --- 1 1/16 de pulg. Se usan capas delgadas porque reducen al mínimo la formación de vejigas y otros defectos en la lámina prensada. En general cuanto mayor es la pigmentación del hule más gruesa puede ser la hoja individual.

d) Extrusión.

Una máquina de estiramiento por presión consta principalmente de un tornillo sin fin movido por energía eléctrica, que gira en un cilindro fijo. Una tolva para suministrar los materiales previamente calentados está situada cerca del extremo que recibe la impulsión. En el otro extremo hay un cabezal que lleva la matriz que produce la sección transversal deseada. El cilindro está provisto de una camisa de calentamiento; en los tornillos de gran tamaño, la sección central está perforada con el mismo objeto.

Debido a la considerable cantidad de componente elástico en las composiciones de hule no vulcanizadas, ocurre una expansión apreciable cuando el material es forzado a través de una matriz. Por esta razón, el coeficiente de extrusión es menor que la correspondiente dimensión de la forma obtenida.

e) Ensamblaje.

Las llantas se construyen de adentro hacia afuera sobre un tambor de acero o hule hinchado. La capa de estructura de cuerdas, recortadas según la anchura requerida y el ángulo especificado, es entregada a las máquinas de ensamblaje. El hule calandrado se enrolla alrededor del tambor, seguido por las capas de cuerdas a los ángulos especificados en direcciones alternadas. Las pestañas se fijan a -- las dos terminales del cilindro y a las terminales de los pliegues -

volviéndose a enrollar alrededor del reborde. La estufilla, una tira de hule recubierta con estructura entretrejida, se puede enrollar al rededor del reborde. El cinturón si se usa se aplica sobre la capa de cuerdas, después se coloca la base del piso, el piso y la pared lateral, aquí se obtiene lo que se llama la llanta verde. El tambor se derrumba, permitiendo que se remueva la llanta verde como un cilindro largo.

La construcción de las llantas radiales requieren un paso más - es decir, una formación parcial para llevar la llanta verde más proxiamente a sus últimas dimensiones, antes de la aplicación del cinturón el cual tiene baja extensibilidad (25).

Llantas grandes se ensamblan en bandas ligadas, o mangas prefomadas de estructura revestida, sobre el tambor. En lugar de ser extruido, el piso puede ser laminado esto es, construido sobre un contorno programado para dar vueltas a una tira de piso calandrado (alrededor de la carcaza de la llanta) antes de ser ensamblado sobre el tambor.

#### f) Curado.

El curado envuelve la aplicación de temperatura y presión especificas durante un período de tiempo para efectuar la vulcanización sobre el compuesto de hule en la llanta. Las moléculas de hule se entrecruzan en una serie de reacciones con azufre, aceleradores y activadores. El proceso se combina con la formación que es un proceso preliminar, en el cual la llanta cilíndrica verde se comprime contra el molde en que se cura. La llanta curada tiene la forma final y propiedades físicas requeridas para su servicio.

En el proceso automático más usado en las plantas modernas, una temperatura continua se mantiene en la carcaza aplicando vapor al --

molde externo de acero o aluminio. Calor y presión se suministran - en ciclos de vapor, aire o agua sobrecalentada. La llanta verde se coloca sobre una vejiga de hule, como una prensa cerrada, se suministra agua caliente a la vejiga y la llanta se expande por el empuje - hacia afuera de la vejiga. Cuando se sierra completamente el hule del piso y de la pared lateral se fuerzan contra el molde antes de comensarse a vulcanizar. Al finalizar el tiempo de cura prescrito, la vejiga se enfría con agua fría rociada, antes de que el molde se derrumbe por alivio de presión. De esta forma la llanta queda curada.

g) Pruebas de laboratorio.

Las pruebas de laboratorio se diseñan para calcular una propiedad específica mejor que el funcionamiento bajo condiciones de servicio, en el cual un gran número de propiedades entran en interacción.

Duración: la llanta se infla y se pone bajo carga contra un disco de cara plana manejándose a una velocidad constante. La carga se incrementa para kilometrajes específicos. El debilitamiento consiste en la fatiga de las cuerdas, separación del piso, de pestaña, o trozos de piso.

Generación de calor: la llanta se pone a funcionar contra un disco como la prueba anterior. La carga se puede variar y la máquina se puede modificar con capacidad de frenado; el manejo puede ser sobre la llanta o sobre el disco. La temperatura en cualquier parte de la llanta se puede medir a intervalos insertando un pirómetro, o puede ser registrada continuamente durante la operación por un termistor encajado en la llanta.

Resistencia dinámica a la intemperie: la máquina es similar a la de duración pero se pone a funcionar a bajas velocidades, además

que tiene una entrada de aire para simular la intemperie. Alternativamente se puede introducir una corriente de vapor ozonizado contra la pared de la llanta. También todo el equipo puede encerrarse en una cámara con ozono.

Resistencia al choque: la más conocida prueba para la resistencia al choque es la prueba de hundimiento estático. En esta prueba un émbolo de acero de 3/4 de pulg. de diámetro se presiona contra la llanta inflada hasta su rompimiento. El émbolo se mueve a 2 pulg/min. La energía requerida para la ruptura se calcula de la carga y de la deflexión.

h) Pruebas de carretera.

Desgaste del piso: la velocidad de desgaste del piso de una llanta está influenciada por un gran número de variables; por ejemplo: condiciones de la superficie del camino, topografía, vehículo, posición del rodado, tráfico, velocidad, etc. (27,28). Por esta razón los valores de desgaste no pueden considerarse significativos a menos que se detallen las condiciones minuto a minuto. Por medio de métodos estadísticos se puede llegar a calcular una velocidad relativa de desgaste (29,30). A pesar de las cualidades de las pruebas de carretera, son consideradas indispensables hasta que las pruebas de abrasión del laboratorio muestran correlación satisfactoria con el desgaste normal bajo condiciones de servicio.

Resistencia al patinaje: las pruebas de patinaje no han alcanzado un grado de estandarización como las pruebas de desgaste. El frenado a distancia es un índice de resistencia al patinaje. Un ejemplo de esto fue publicado por la Federal Highway Administration (31). El vehículo se acelera a 60 mph, los frenos se aplican justamente en

el lugar indicado, midiéndose la distancia que tardó en pararse el -  
vehículo. Esta prueba es más bien para la evaluación de vehículos -  
que de llantas.

Duración: las llantas se prueban para su duración sobre carrete-  
ra, a velocidades y cargas normales para altos kilometrajes. Por --  
ejemplo 30 000 Km. para llantas de automóvil y 60 000 Km. para llan-  
tas de camión. La ruptura en surcos, separaciones y fatiga de las -  
cuerdas son las fallas más comunes. La duración a altas velocidades  
puede probarse en carreteras construidas para ese propósito, tales\_  
como pistas circulares de 8 Km. de circunferencia.

#### III.14. Localización de las plantas.

Las principales compañías productoras de llantas y la localiza-  
ción de sus plantas se muestra en la tabla III.4.

TABLA III.4.

PLANTA	LOCALIZACION
Goodyear Oxo S. A.	Lecheria, Edo. de Mex.
Goodrich Euskadi S. A.	México, D. F. El Salto, Jalisco. La presa, Edo. de Mex.
General Popo S. A.	México, D. F. San Luis Potosí S. L. P.
Uniroyal S. A.	México, D. F. Querétaro, Qro.
Firestone El Centenario S. A.	México, D. F. CIVAC, Cuernavaca, Mor.

### III.15. Producción y valor de la producción de llantas.

En la tabla III.5. se muestra la producción y el valor de la -- producción para llantas de automóvil y camión.

TABLA III.5.

#### PRODUCCION Y VALOR DE LA PRODUCCION DE LLANTAS

Año	Producción (miles de piezas)		Valor de la producción (miles de pesos)	
	Llantas para automóvil	Llantas para camión	Llantas para automóvil	Llantas para camión
1970	2 066	1 303	654 084	1 181 324
1971	2 368	1 342	605 777	1 043 797
1972	2 883	1 424	724 738	1 140 919
1973	2 913	1 658	815 018	1 404 760
1974	2 910	1 761	920 109	1 762 246
1975	3 341	1 972	1 227 841	2 300 474
1976	3 934	2 218	1 662 781	2 784 541

Fuente: Secretaría de programación y presupuesto.

Dirección general de estadística.

### III.16 Principales tipos de llantas y su precio.

En la tabla III.6. se muestra los principales tipos de llantas\_ y su símbolo; además de las variaciones de sus precios de 1974 a --- 1977.

El símbolo es uniforme para todas las compañías a la vez que el precio. Esto es por el decreto presidencial que apareció en el Diario Oficial del 3 de octubre de 1974 por el cual las llantas entra--

ron a control de precios por la Secretaría de Comercio. El tipo de llanta se refiere a las llantas producidas en la Goodyear Oxo bajo esta denominación.

TABLA III.6.

PRECIO DE LLANTAS

Símbolo	Tipo	Precio (pesos)		
		Agosto 1974	Abril 1975	Marzo 1977
560-13	Negra reforzada sin cámara.	218.5	235.6	280.35
165-SR-13	Super Aguila Cara negra, sin cámara.	374.3	404.7	669.25
695-14	Negra reforzada sin cámara.	334.4	361.4	429.6
DR-70-14	Super Aguila cara negra, sin cámara, letras blancas.	708.7	765.7	911.2
560-15	Negra reforzada sin cámara.	279.3	302.1	359.5
155-SR-15	Super Aguila cara negra, sin cámara.	430.35	464.55	552.8
1000-20	Tragale-guas, - rayón 12 capas.	1779.35	1921.85	2287.0
1100-20	Tragale-guas, - rayón 12 capas.	2012.10	2172.65	2585.45
1100-22	Tragale-guas, - rayón 12 capas.	2133.70	2304.70	2742.60

Fuente: Secretaría de Comercio.  
Dirección General de Precios.

\* Cambia de cara negra, sin cámara; a cara negra acero, sin cámara.

**III.8. Inversiones en plantas llanteras.**

Las cinco principales productoras de llantas tienen inversiones por 519.1 millones de pesos (32). La participación extranjera en estas inversiones es del 100% y su origen norteamericano.

- 1) J.C. Ambelang and T.A. Richl, The Goodyear Tire and Rubber Co. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. vol 14. pag 42-63. Science Publishers, Inc. New York. 1971.
- 2) Fred W. Billmeyer Jr. Textbook of Polymer Chemistry. pags. 435-451. Interscience Publishers, Inc. New York. 1957.
- 3) Cortés Gasca S. Hule Mexicano y Plasticos, 23(9); 6-12 (1967).
- 4) W.J. Kelly (To Goodyear Tire and Rubber Co., Inc.) U.S. Patent 1 631 871 (7 de junio de 1927).
- 5) P.I. Murrill (To R.T. Vanderbilt Co.) U.S. Patent 1 921 091 -- (8 de agosto de 1933).
- 6) J. Von Braun, Chem. Ber., 35; 817(1902).
- 7) W.B. Burnett and I. Williams (To E.I. du Pont de Nemours and - Co., Inc.) U.S. Patent 1 780 334 (4 de nov. 1930).
- 8) D. Craig (To B.F. Goodrich Co.) U.S. Patent 2 009 480 (30 de - julio de 1935).
- 9) R.B. Spacht, C. Wadelin, W.S. Hollingshead, and D.C. Willis, - Ind. Eng Chem. Prod. Res. Develop. 1; 202(1962); L.J. Kitchen, H.E. Albert, and G.E.P. Smith Jr., Ind. Eng. Chem. 42; 675 --- (1950).
- 10) G. Alliger and I.J. Sjothum, eds., Vulcanization of Elastomers. Reinhold Publishing Corp., New York, 1964.
- 11) Cortés Gasca S. Hule Mexicano y Plasticos, 23(10); 11-17 (1967)
- 12) Cortés Gasca S. Hule Mexicano y Plasticos, 23(11); 8-13 (1967).
- 13) Cortés Gasca S. Hule Mexicano y Plasticos, 23(12); (1967).
- 14) A.M. Merrill, eds., Materials and Compounding Ingredients for - Rubber and Plastics, Rubber World, New York, 1965, pags. 424-447
- 15) C. H. Leigh Dugmore, Plastics and Technology of Reinforcement. in W.J.S. Nounton, eds., The Applied Science of Rubber, Edward\_ Arnold, Ltd., London, 1961, pags. 475-505.
- 16) A.F. Blanchard, Theoretical and Basic Principles of Reinforce-- ment, in W.J.S. Nounton, eds., The Applied Science of Rubber, - Edward Arnold, Ltd., London, 1961, pags. 414-74.
- 17) J.W. Snyder, and M.H. Leonard, Carbon Black, in M. Morton, eds., Introduction to Rubber Technology, Reinhold Publishing Corp., - New York, 1959.

- 18) W.H. Shearon, Jr., R.A. Reinke, and T.A. Ruble, Ind. Eng. Chem. 44; 685-694 (1952).
- 19) W.B. Wilgand, Ind. Eng. Chem. 23; 178-181 (1931).
- 20) D.C. Paulsen, Instrumentation, 6(6); 35-37 (1953).
- 21) G.C. Lewis and G.A. Lewis, Lampblack, in J.J. Mattiello, eds., Protective and decorative Coatings, Vol. 2, Jhon Willey and -- sons, Inc., New York, 1942.
- 22) C. Kaufmann, Can. Chem. Met. 17: 93-95 (1933).
- 23) Dropesa C. Propiedades y costos de las cargas reforzantes para la industria hulera, Hule Mexicano y Plasticos, 32(6); 5-11 -- (1977).
- 24) T. Takayama and J. Matsui, Rubber Chem. Tech. 42; 159(1969).
- 25) W.O. Murtland, Rubber World, 162(6); 53(1970).
- 26) Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Vol. 2 pags -- 827-836. Interscience Publishers, Inc. New York, 1971.
- 27) S. Davinson, M.A. Deisz, D.J. Meier, and R.J. Reynolds, Rubber Chem. Tech., 38; 457 (1965).
- 28) Gummiwerke Fulda GmbH, Einsatzbediurgungen und Lebensdauer Gummi bereifung 45(3), 21; (4),30; (5),32; (6),32 (1969).
- 29) G.G. Richey, J. Mandel, and R.D. Sticher, Rubber World, 143(11); 84 (1960).
- 30) S. Spinner and F.W. Barton, Some Problems in Measuring Tread -- Wear of Tire, Natl. Bur. Std. (U.S.) Tech. Notc. 486 (agosto de 1969).
- 31) Subchapter A., Motor Vehicle Safety Regulations, Part 375.2 -- Consumer Information, Federal Register 34(99), 8112 (23 de mayo de 1969).
- 32) José Luis Leceña, México en la Orbits Imperial, Ediciones "El caballito". México, 1977.

## CAPITULO CUATRO

### ANALISIS HISTORICO

#### IV.1. Hule natural de Heves.

- a) Periodo de 1905-1941.
- b) Periodo de 1941-1962.
- c) Periodo de 1962-1969.

#### IV.2. Hule natural de Guayule.

- a) Periodo de 1903-1921.
- b) Periodo de 1922-1935.
- c) Periodo de 1936-1951.

#### IV.3. Butadieno y Estireno.

#### IV.4. Hule sintético.

#### IV.5. Llantas.

## CAPITULO CUATRO

### ANALISIS HISTORICO

#### IV.1. Hule natural de Hevea.

Así como la industria textil caracterizó la revolución industrial del siglo XVIII, la construcción y crecimiento de los ferrocarriles marcó la mitad del siglo siguiente; a partir de 1890 en la llamada segunda revolución industrial otras industrias se convierten en principales dinamizadoras del crecimiento industrial; junto a la construcción de máquinas surgen entonces, sobre todo, la industria química y eléctrica, también la de automóviles, que antes de 1914 solo tuvo una importancia limitada. En este contexto se desarrolla la producción y consumo mundial de hule natural, cuya demanda estará íntimamente ligada al comportamiento de la industria automotriz.

Es de vital importancia hacer notar que a finales del siglo pasado y a principios de éste, se inicia una gran expansión del mercado mundial promovida por los países capitalistas. Esta expansión hace posible el flujo de capital hacia países que se encuentran en una etapa pre-industrial. Las plantaciones de hule natural en América, Asia y Africa son uno de los indicadores más representativos de esta situación.

El desarrollo de las plantaciones de hule natural se da en tres periodos en México. El primero comprende de 1905 a 1941, el segundo de 1941 a 1962 y el tercero de 1962 a 1969.

a) Período de 1905-1941.

El contexto internacional en que se desarrolla éste período es el decaimiento a principios de siglo de la producción de hule natural en Brasil, aunada al desarrollo intensivo de plantaciones hule-  
ras en el sureste asiático, que provocan que ésta última región cap-  
te en 1914 el 52.6% de la producción mundial, en 1924 el 93% y para  
1934 el 98.5%. Desde 1890 Brasil exporta continuamente 400 ton. de  
hule al año, para 1870 las exportaciones de éste país rebasan las -  
4 000 ton, para 1890 las exportaciones son ya de 23 000 ton. y ha-  
cia los primeros años del presente siglo alcanzan las 35 000 ton.

No obstante los incrementos de la producción brasileña, las di-  
ficultades que se presentaban para mantener un ritmo de crecimiento  
adecuado para satisfacer la demanda, habían sido previstas por ----  
Inglaterra, que en 1876 sacó de Brasil alrededor de 70 000 semillas  
de hevea, que con el tiempo fueron las que consolidaron la estructu-  
ra necesaria para iniciar las plantaciones del sureste asiático. A  
partir de 1912 cuando las exportaciones rebasan las 45 000 ton anua-  
les, se inicia el estancamiento y descenso paulatino de la activi-  
dad hule-ra de Brasil.

Por otro lado, durante los inicios de éste período, hubo otras  
fuentes de abastecimiento de hule que fueron Centro y Sur-América, -  
que producían hule de hevea, de Castilla elástica y guayule. Des-  
de 1914 con la entrada del Sureste Asiático en la producción de hu-  
le, la participación de éstos países pasó a ser con el tiempo insig-  
nificante con respecto a la producción mundial.

El traslado hacia 1914 de la capital del hule de Pará (Brasil)  
a Singapur, significa también el control de mercado por parte de --

Inglaterra y Holanda. Es importante tener en cuenta que también -- los Estados Unidos pasan a ser el principal consumidor; en 1904 absorbían el 40.7% del consumo mundial, en 1914 el 51.8% y en 1924 su peraba el 70%.

Por las razones anteriores expuestas éste período se caracteri za por la rivalidad en el control del mercado del hule entre los -- Estados Unidos y el grupo anglo-holandés. Por otro lado, países co mo Alemania y el mismo Japón, que no tienen plenamente asegurado el suministro del hule, se lanzan a la búsqueda del sustituto sintéti- co, sobre todo al final del período.

La rivalidad entre los norteamericanos y el grupo anglo-holan- dés, se expresa en forma palpable en la "Stevenson Restriction" de- cretada por Inglaterra en noviembre de 1921, que por estos años con trolaba el 69% de la producción. La finalidad de este decreto era controlar la oferta del producto, lo que significaba el mantenimien- to de altos precios del hule, contrarestando de esta forma, la ten- dencia decreciente de los precios que después de la depresión de -- 1920-1922 cayeron espectacularmente a 14.5 centavos de dólar la li- bra, con la "Stevenson Restriction". Para 1925 el precio se había elevado a 1 dólar la libra.

Los Estados Unidos siendo los principales consumidores para con trarestar el poderío del grupo anglo-holandés, intentan desarrollar de manera permanente plantaciones de Hevea brasiliensis. La fires- tone recibe concesiones de 100 000 acres en Africa, la Good-Year en Filipinas, Panamá y Costa Rica; en 1927 Henry Ford ingresa al nego- cio con la ceación de la "Companhia Ford Industrial do Brasil" con la cantidad de 2 500 000 acres en Boa Vista, Brasil.

A la "Stevenson Restriction" que se derogó en 1928 siguieron otras medidas para controlar el precio del hule natural, que se hicieron extensivas hasta 1943.

Por lo que respecta a las plantaciones en México, tienen un gran impulso la primera década del presente siglo. Esta época se caracteriza por una fuerte expansión de la economía, un fuerte impulso a las industrias extractivas y a los cultivos de exportación. Existe además, una actitud de apoyo a la inversión extranjera por parte del gobierno; ésto aunado a condiciones de carácter mundial impulsó la entrada masiva de capitales, principalmente norteamericano, alemán e inglés.

Aunque a finales del siglo pasado hacia 1880, algunas plantaciones de Hevea y otras de Castilla elástica realizadas por los ingleses producían 200 ton de hule que se exportaban; no fue sino hasta principios de siglo, cuando se hicieron plantaciones de real importancia. El Gobierno Mexicano concesionó tierras a J. Rockefeller y Nelson Aldrich en Chiapas, Tabasco, Veracruz y Oaxaca; estas plantaciones comenzaron a producir a partir de 1905 pasando de 1 458 ton exportadas en ese año a 7 443 en 1910.

Estas plantaciones estaban controladas por la "Intercontinental Rubber Co." crada por Rockefeller, Aldrich, B. Baruch y otros. --- Esta compañía fue creada para contrarrestar a las empresas anglo-holandesas en el control de hule mundial e iniciar el control de hule mexicano. La "Intercontinental" en 1910 contaba con 30 millones de pesos de capital y era la décima empresa más grande de México. Era la empresa agrícola más importante y una de las cinco empresas norteamericanas más grandes ubicadas en el país. Finalmente controla-

be más de las dos terceras partes del capital invertido en el hule (1).

Estas plantaciones fueron abandonadas paulatinamente, debido a dos causas: el conflicto armado en 1910 y a las condiciones económicas favorables en sureste asiático y de menor importancia en África. Al finalizar éste período la mayoría de las plantaciones habían sido abandonadas.

b) Período de 1941-1962.

Este período está caracterizado internacionalmente de manera principal por la Segunda Guerra Mundial. Las plantaciones del sureste Asiático son invadidas por los japoneses; el mundo capitalista y principalmente los Estados Unidos se lanza a la producción comercial de un sustituto sintético del hule natural y a la producción de hule de todas las fuentes disponibles.

Durante éste período se hace viable explotar el guayule silvestre en México por las malas condiciones en que se encontraban las plantaciones de Hevea al haber sido abandonadas. Por ésta razón el Gobierno de los Estados Unidos realizó un convenio con el Mexicano, en el cual se trataría de : ambientar plantas de Hevea brasiliensis de gran rendimiento en la zona tropical de México, de manera que pudieran competir en rendimiento con las del lejano oriente; de inmediato tratar de establecer viveros y jardines con clones de alta producción en plantaciones piloto.

Lo anterior fue la base para que el Gobierno Mexicano a través de lo que es ahora la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, establezca en 1941, el campo experimental "El Palmar" en una superficie de 315 Ha; estas fueron adquiridas del Rancho de Mayacantla situado en San Jerónimo de Manzanares, municipio de Tezonapan, Veracruz. En dicho campo experimental se empezó con asistencia de

técnicos mexicanos y norteamericanos, el establecimientos de viveros y jardines en donde se obtuvieron yemas que serían injertadas en las plantas que fueron traídas de Liberia, Guatemala, Costa Rica, Haití, Nicaragua y Brasil.

Durante este tiempo se establecieron en los jardines 152 clones y más tarde en 1944 se obtenían los primeros tocones producidos en el campo experimental "El Palmar". Estos tocones se distribuyeron entre agricultores de la región lográndose plantar en forma comercial cerca de 1 035 Ha. El financiamiento para esta plantación lo dió SARH retirándolo en 1949. Esto provocó que se redujeran las 1 035 Ha plantadas. La producción de hule natural a partir de 1949 fué de 400 ton anuales.

Este período es la base para suministrar por medio del campo experimental "El Palmar", los árboles que serían plantados en el siguiente período por el "Programa Nacional de Producción de Hule Natural".

c) Período de 1962-1969.

Este período se caracteriza por la plena normalización de las plantaciones del sureste Asiático en el plano internacional y por el crecimiento de la industria automotriz y llantera en México. Esto último provocó una gran demanda de hule natural, que tuvo que ser importado.

En el ámbito internacional otro gran factor que influyó en este período fue el decrecimiento en los precios del café. Esto hizo que la Organización Internacional del Café a principios de la década de los sesentas recomendara a los países productores reducir sus áreas de cultivo por medio de la diversificación de cultivos.

Esta recomendación de la Organización Internacional del Café dió lugar en México al "Programa Nacional de Producción de Hule Natural". Este programa pretendía suplantar cultivos de café por cultivos de árbol de Hevea. El INMECAFE trataba de absorber por medio de la diversificación de cultivos 60 000 Ha. marginales plantadas de café.

El 18 de septiembre de 1961 se formó el PNPHN (2), que empezó a operar en 1962. Este programa dependía del INIA y el INMECAFE y estos a su vez de la ahora SARH, tenía por meta establecer el cultivo de 20 000 Ha de Hevea durante una primera etapa de 1962 a 1969, y en una segunda etapa, se trataría de alcanzar la cifra de 40 000 Ha, esto permitiría abastecer el mercado interno de hule natural.

El financiamiento se podría hacer por medio de un impuesto a las importaciones de hule natural. El monto del crédito alcanzaba 6 731 pesos por hectárea, que deberían liquidar los beneficiadores con una tasa de interés del 6% anual a un plazo mínimo de 9 años. Este financiamiento provenía del INMECAFE; la asesoría técnica estaba dada por personal del INIA y del campo experimental "El Palmar".

Los créditos fueron suspendidos por el gobierno federal en 1967 por lo que desde este año no se hicieron nuevas plantaciones. En la tabla IV.1. se puede ver el número de hectáreas hasta 1969 que fué de 6 652 Ha. Estas plantaciones se redujeron por el corte del financiamiento poco después. La producción de estas plantaciones a partir de 1970 es de alrededor de 4 000 ton anuales. Desde el año de 1967 no se ha vuelto a plantar árboles de Hevea.

Los factores que hicieron que no cristalizara este programa son; la falta de financiamiento para nuevas plantaciones, la poca tradi-

ción en las plantaciones de Hevea y la mano de obra que incrementa mucho los costos de producción. Los salarios de los malayos son de aproximadamente 50% menores de los salarios de los campesinos mexicanos.

Se están haciendo algunos estudios dentro de la SARH, para formar una empresa estatal que maneje la plantación y producción de hule natural de Hevea. Este organismo se encargaría de financiar las nuevas plantaciones y de reorganizar de manera productiva las ya -- existentes, de modo que se pueda aprovechar este recurso renovable, que ante la escasés de hidrocarburos puede en el futuro de ser de -- gran importancia. Un factor muy importante que debe de ser tomado -- en cuenta en ésta organización de ésta industria tropical es la cantidad enorme de mano de obra que eleva sustancialmente los costos, -- estos costos pueden ser reducidos sin disminuir el empleo, aplicando innovaciones tecnológicas adecuadas. Como se ha dicho anteriormente, la tecnología empleada por las beneficiadoras de hule de Hevea en México es demasiado anticuada, es por tanto necesario renovar la maquinaria por una más moderna y eficiente, si se desea impulsar la producción de hule natural. Plantas mejor organizadas y -- con una mejor tecnología ayudarían a elevar el empleo en el trópico, pues impulsarían las plantaciones de Hevea y de esta manera el empleo en la recolección del látex.

Una de las principales barreras a la que se ha encontrado la -- industria del hule natural de Hevea en México, es la falta de crédito para las plantaciones del árbol. El período que tienen que pasar antes que el árbol Hevea brasiliensis empiece a producir es de -- casi seis años, en todo este tiempo el campesino no recibe ganancias por el uso de su tierra, por lo que se ve en una situación muy

difícil. Cuando el Gobierno Federal financió las plantaciones de Hevea en el sur-este, con créditos de 6 731 pesos por hectárea a -- campesinos que poseían tierras marginales de café, éstos se vieron en la necesidad de cultivar maíz entre los árboles de Hevea para poder subsistir antes de que empezaran a producir hule.

Por lo anterior, las nuevas plantaciones de Hevea deben de acompañarse de otros cultivos en un ecosistema, de manera tal que se aproveche lo mejor posible y de manera integral la tierra sin deteriorarse. Para la selección de cultivos puede cooperar el INIA por medio de asesoramiento técnico a los campesinos. Este tipo de organización, permitiría a los campesinos recibir ingresos permanentes, antes de que los árboles empezaran a producir. Este tipo de organización ecológica de producción podría en las zonas áridas de México que fueran a cultivarse con guayule para producir hule natural, en este caso la diversificación de cultivos ayudaría a que las tierras no se agotaran.

#### IV.2. Hule Natural de guayule.

El desenvolvimiento de la industria guayulera en México se produce en tres períodos; de 1903 a 1921 el primero, de 1922 a 1935 el segundo y el último de 1936 a 1951 (3).

##### a) Período de 1903-1921.

Aunque a finales del siglo pasado se hicieron intentos serios para aprovechar el guayule, no fué hasta este siglo cuando el recurso se industrializó.

Durante los veinte años en los que se extiende el período, se dan dos ciclos de producción, los cuales se distinguen claramente; el primero, con una tendencia creciente de la producción y cuyo punto más alto se alcanza en 1910. A partir de éste año se inicia la

otra fase, en la cual la producción decrece paulatinamente, llegando a su más baja producción en los años de 1914 a 1917. Dos acontecimientos determinan el desenvolvimiento del sector de éstos años; el carácter que asume la economía en el último decenio del Porfiriato y el movimiento armado de 1910.

La utilización del guayule para producir hule natural, así como la explotación del henequén y otros productos a finales del siglo pasado y la primera década de éste, eran el resultado del proceso de la articulación del mercado nacional a la notable expansión y conformación del mercado mundial.

Todas las inversiones para la industrialización del guayule -- fueron extranjeras a excepción de la familia Madero y algunos otros inversionistas locales. El carácter extranjero del capital constituye el aspecto condicionante de la forma y alcances en el desarrollo del sector.

En este período se instalan 14 plantas, de las cuales 3 pertenecen a la "Continental Mexican Rubber Company" filial de la "Intercontinental", de capital norteamericano, y 5 a la familia Madero; -- de las otras empresas solo es de mencionarse la "Compañía Explotadora de Caucho Mexicano" de capital alemán y otras de menor importancia de capital inglés. Ver tabla IV.2.

El impulso más importante en el aprovechamiento del guayule -- proviene en este período de las necesidades de expansión del mercado mundial. Esto provocó la entrada de capitales extranjeros, tales como alemanes, norteamericanos y en menor medida británicos en busca precisamente de su abastecimiento de materias primas.

El control del mercado del hule fue ganado por las empresas --

norteamericanas que a finales de éste período controlaban en definitiva la producción y la comercialización del hule del guayule.

En 1906 el "Panamerican Magazine" comentaba los aspectos más importantes de la pugna por el control del hule: "Hasta hace poco - el hule valía 75 centavos oro por libra en el mercado, pero el precio ha bajado debido a las operaciones de especuladores de Estados Unidos conocido como el "Trust del Hule" (...). Este grupo ejerce dominio no tan solo sobre la producción del hule de América del Sur, sino también sobre la mayoría de las fabricas de artículos de hule en los Estados Unidos (...), cuando el hule mexicano empezó a llamar la atención, éste grupo se propuso arrebatar el dominio exclusivo de la industria mexicana, e intentó hacer contactos con los productores para todo el hule que producen a los precios que entonces regían de 60 a 70 centavos oro la libra".

Finalmente en lo que respecta éste período, es importante tener en cuenta que la confluencia de una serie de fenómenos nacionales como internacionales provocan el decaimiento prematuro de ésta naciente industria, entre éstos fenómenos destacan: el cambio de la primera a la segunda etapa en la revolución de la economía mundial del hule y el estallido de la Primera Guerra Mundial, en el ámbito internacional; el movimiento armado de 1910 en lo referente a lo nacional.

b) Período de 1922-1935.

Este período se inicia con la construcción de las plantas de la "Continental Mexican Rubber Company" en Cedros y Estación Catorce. La tecnología aplicada a éstas plantas de proceso transforma sustancialmente la producción de hule de guayule. Concluye éste período con la terminación de la depresión que afectó a este sector,

durante la crisis de 1929 a 1933.

El marco internacional en que se desarrolla este período, lo constituye la rivalidad entre las empresas anglo-holandesas y las norteamericanas, que provocan variaciones constantes en el precio y la demanda internacional del hule. Es la "Stevenson Restriction" la principal prueba de esta rivalidad. Los norteamericanos al final de éste período tenían un control practicamente total de la comercialización y la mayor parte de la producción del guayule.

A pesar de las variaciones en los precios internacionales del hule, existe una recuperación lenta de la producción, la cual se ve truncada de 1929 a 1935; es más, durante el trienio de 1931-1933 -- hay una recesión total de la producción, durante estos años se da lo que podríamos llamar la "selección natural" y consolidación de las empresas más fuertes. Esto trae como consecuencia que las empresas pequeñas y de baja productividad sean absorbidas o eliminadas. De las 14 plantas que existían en el período anterior solo -- continúan funcionando la "Continental Mexican Rubber Company" de Torreón y la "Compañía Hulera de Ferras". Aunque esporádicamente -- trabajó la "Compañía Explotadora de Caucho Mexicano" de Saltillo -- (tabla IV.2.).

Avisorando mejoría en el precio del hule, la "Continental" --- construye entre 1921 a 1923 dos plantas, cuyo diseño y funcionamiento se convierte en modelo de eficiencia; la primera en Estación Catorce, S.L.P. y casi simultaneamente en Cedros, Zac. La "Continental" en este período controla alrededor de las cuatro quintas partes de la Producción. En síntesis, la conformación de una estructura oligopólica que se venía fraguando hace tiempo se da precisamente

en el período.

También se debe notar, que la disminución de la recolección del arbusto en este período, dio lugar a que la población natural de guayule se recuperara, aumentando las reservas y dando lugar a que en el último período se explotara a su máximo (tabla IV.4.).

c) Período de 1936-1951.

Este período en el cual se explota la misma cantidad de arbusto que en los dos últimos períodos juntos se extiende hasta 1951, aunque fue estrictamente hasta 1947 cuando se dejó de explotar el recurso; a partir de éste año solo continúa trabajando la "Continental" de Torreón.

Es la segunda Guerra Mundial que implicó una demanda creciente y segura de materias primas, la que moldea la producción de hule del guayule en este período. En lo interno solo es de destacar la creación de la SOCHULE en Cuatro Ciénegas, Coahuila en 1943, y el reacondicionamiento de la guayulera de Saltillo; el resto de las plantas son las que venían operando en el período anterior.

En este período al igual que en el primero crece gradualmente la producción hasta llegar a su máximo en 1945, iniciándose aquí el debacle que a diferencia del primero termina la extinción total de la explotación del recurso. Cuando más prometía desde el punto de vista tecnológico y de cultivo la producción de hule de guayule, es cuando afloran sus principales límites, así como los aspectos que se tenían que avocar aquellos que en el futuro quisieran industrializarlo.

William O'Niell funcionario de la "General Tire and Rubber Company", señalaba la necesidad de cultivar a gran escala guayule en -

1943 (4). Efectivamente hacía algunos años que Estados Unidos veía "que no estaba en Brasil la solución de abastecimientos rápidos y abundantes de hule, sino en México, que puede ser una fuente más segura, más barata, y más de confiar"(5).

En éste período las 6 compañías existentes sobre todo la "Continental" procesan 650 000 ton de arbusto, más de los que habían manejado las 14 plantas en el primer período. Imaginemos lo que significa recolectar, empacar, transportar y procesar esta cantidad de arbusto, la gran eficiencia que tenían estas plantas y las mejores tecnologías que tuvieron que adoptarse para realizar éste trabajo. La región de la Altiplanicie del norte del país nunca ha experimentado tan intensa actividad económica como la de éste período.

Son varios los factores que convergen en el final del período; la terminación de la guerra y la disminución del precio mantenido durante el tiempo que duró ésta, el fracaso del cultivo de guayule en México debido al agotamiento del recurso por la intensa explotación a que fue sometido y el alto contenido de resinas del hule de guayule comparado con el natural.

Todo lo anterior conlleva necesariamente a terminar con un proceso iniciado en los primeros años del siglo, que no obstante sus posibilidades y potencial económico no pudo continuar.

#### IV.3. Butadieno y Estireno.

La industria petroquímica básica en México es reciente, Se inicia en el año de 1951, aunque propiamente es en la década de los sesentas cuando inicia su crecimiento. La industria petroquímica básica por la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el ramo del petróleo, pertenece a PEMEX que es una empresa estatal.

En esta tesis no se hará un análisis de PEMEX; se hará una breve mención a los petroquímicos básicos butadieno y estireno.

La industria del butadieno se inició en México con la planta - de PEMEX en Cd. Madero el año de 1975 con una capacidad de 55 000\_ ton/anuales.

La industria del estireno se inició con la planta de Cd. Madero en 1967; ésta planta tiene una capacidad de 33 000 ton/anuales\_ e inició su producción a un 70% de su capacidad. La industria del estireno no ha podido al igual que la del butadieno cubrir el mercado interno.

El marco estructural en el cual se desarrollan estas industrias es por ley gubernamental.

#### IV.4. Hule sintético.

Los inicios de la industria del hule sintético (tratados en el\_ capítulo II) se produjeron en la Segunda Guerra Mundial en el marco internacional. Ahora sólo nos referiremos a la época en que se inicia la industria del hule sintético en México en la década de los - sesentas.

El hule sintético fue desplazando desde su aparición al hule natural, hasta alcanzar una proporción de equilibrio en la década de\_ los sesentas (tabla IV.5.). El hule sintético consumido en México\_ hasta 1966 fue en su totalidad importado. En el Diario Oficial del 22 de agosto de 1964 aparece la concesión del Gobierno Mexicano para que Hules Mexicanos produzca hule butadieno-estireno con una capacidad de 44 500 T/A en Altamira, Tamaulipas. Este permiso se concedió en base a la política de sustitución de importaciones. Hules Mexicanos empezó a producir hule butadieno-estireno el 22 de enero\_

de 1967, con gran aceptación de la industria consumidora de hule -- sintético.

La empresa NEGROMEX productora de negro de humo, obtuvo permiso para producir hule estereoespecífico del tipo polibutadieno, poliisopreno y butadieno-estireno; éste permiso apareció en el Diario Oficial del 22 de octubre de 1965. La capacidad de la planta fue - de 30 000 T/A, ampliándose en el año de 1974 a 45 000 T/A. Esta empresa se encuentra localizada en Salamanca, Gto.

El capital de HUMEX es 40% canadiense y el resto de PEMEX; el capital de NEGROMEX es 40% norteamericano y 60% mexicano. El marco estructural en el cual se desarrolla esta industria es un oligopo--lio de capital extranjero, estatal y privado.

#### IV.5. Llantas.

Las principales compañías huleras aparecen a finales del siglo pasado y principios de éste. Así podemos ver que Michelin se formó en 1863, Goodrich en 1870, Pirelli 1873, Uni-Royal 1892, Dunlop 18-96, Good-Year 1898 y Firestone en 1906.

La industria en México nació como una necesidad del abasteci--miento de llantas para automóvil a principios de siglo, ésto es, durante el período de 1900-1920. Fue en éste período cuando se instalaron las primeras vulcanizadoras que reparaban llantas y cámaras. Estas vulcanizadoras empezaron usando moldes seccionales y poco después usaron moldes de una pieza eléctricos marca Heitz (6).

La primara fábrica que elaboró llantas en forma experimental - fue la Pelzer. Esta fabrica en el año de 1924 fue adquirida por el Ingeniero Ramón D Cruz formando la compañía Popo, que fabricó la --

primera llanta comercial en México el 10 de junio de 1925. Poco -- después en la década de los treinta ésta compañía se asoció con la General Tire and Rubber Company formando la General Popo.

En el año de 1927 se estableció la Compañía Manufacturera de - Artículos de Hule Euzkadi que era propiedad del Sr. Angel Urreza y socios. Esta compañía se asoció en la década de los treinta con - la B.F. Goodrich Co., formando la Goodrich-Euzkadi, habiendo fabricado la primera llanta en 1933.

El Sr. Raúl González fundó la Compañía Hulera Oxo en 1928, poco después en la década de los treinta fue adquirida por la Good-- Year Tire and Rubber Co. que dió lugar a la Compañía Good-Year Oxo.

La compañía Hulera El Centenario la iniciaron los señores Isau ro Tornel, Miguel Maldonado, Eduardo Pacheco y Armando Tornel. Esta compañía en la década de los cuarentas fue adquirida por la Fires tone fundando la Compañía Hulera Firestone El Centenario.

La compañía Hulera Tornel fabricó la primera llanta en 1933 -- ésta fábrica la fundaron Isauro y Armando Tornel, poco después la - adquirió el Sr. Desiderio Garza transformándose en la Compañía Hule ra Mexicana. Durante la década de los cuarentas ésta compañía fue\_ adquirida por la U.S. Rubber Co. dando origen a la Uni-Royal.

Es característica de la industria llantera en México que se -- inicia principalmente en la década de los veinte y principios de - los treinta por capital mexicano y que después en la década de los treinta y de los cuarentas es adquirida por transnacionales de capital americano. Esta entrada de capital extranjero se favorece - por la estabilidad política adquirida por México en ésta época y a\_ la coyuntura presentada por la Segunda Guerra Mundial, que moldea -

la estructura política y económica de México. Esta estructura a -- partir de entonces ha favorecido las inversiones extranjeras en el\_ país.

También es de mencionarse la Compañía Hulera Tornel en la déca da de los sesentas con capital mexicano, aunque ésta sólo absorbe - un poco más del 2% del mercado. Las cinco transnacionales descri-- tas anteriormente controlan cerca del 97% del mercado nacional.

TABLA IV.1.

HECTAREAS PLANTADAS HASTA EL 31 DE  
DICIEMBRE DE 1967

REGION	Hec.
El palmar, Ver.	1 685.00
Tuxtepec, Oax.	1 484.50
Istmo de Tehuantepec, Oax.	2 419.25
Tabasco y norte de Chiapas.	818.00
Soconusco, Chis.	245.25
Total	6 652.00

Fuente: Folleto "Qué es y cómo actúa el  
INMECAFE", México 1968.

TABLA IV.2.

COMPAÑIAS Y NUMERO DE PLANTAS PRODUCTORAS DE GUAYULE POR PERIODOS (1903-1947)

COMPAÑIAS	ORIGEN DEL CAPITAL	PERIODOS			
		1903-1921	1922-1935	1936-1947	TOTAL
Continental Mexican Rubber Company	EE.UU	3	3	3	5
Compañía Explotadora del Caucho Mexicano	Alemán	2	1	-	2
SOCHULE, S.A.	Mex-EE.UU	-	-	2(2)	2
Compañía Explotadora Coahuilense (1)	Mexicano	1	-	-	1
Compañía Guayulera Nacional (1)	Mexicano	1	-	-	1
Australia, S.A. (1)	Mexicano	1	-	-	1
Salvador Madero y Compañía S. en C. (1)	Mexicano	1	-	-	1
Compañía Hulera de Parras.	Mex-EE.UU	-	1	1	1
Compañía Explotadora de Guayule, S.A.	Alemán	1	-	-	1
Guayule Rubber Company Ltd.	Inglés	1	-	-	1
Fabrica de Guayule de Delicias	Mexicano	2	-	-	2
Otras compañías	Alemán-GB	2	-	-	2
Total de plantas		14	5	7	19

Fuente: Investigación directa de la Sección de Estudios Socio-Económicos del C.I.Q.A.

(1) Compañías de la familia Madero.

(2) La SOCHULE tenía una semiprocesadora en Estación Noé, Dgo.

TABLA IV.3.  
EXPORTACIONES DE HULE DE GUAYULE

	VOLUMEN (ton)	TASAS DE CRECIMIENTO	%
1906-1910	16 005	22.43	11.98
1911-1915	17 020	0.61	12.74
1916-1920	6 677	-8.72	5.00
1921-1925	9 374	3.36	7.01
1926-1930	15 674	5.03	11.73
1931-1935	1 029	-17.53	0.77
1936-1940	15 081	17.44	11.29
1941-1945	41 462	9.33	31.04
1946-1950	10 213	-12.09	7.54
Totales	133 535		100.00

Fuente: Investigación directa de la  
Sección de Estudios Socio--  
Económicos del C.I.Q.A.

TABLA IV.4.

ESTIMACIONES DE ALGUNOS INDICADORES IMPORTANTES DURANTE LOS PERIODOS DE APROVECHAMIENTO  
DEL GUAYULE

INDICADOR	PERIODO		
	I	II	III
Plantas procesadoras	14	5	7
Hule producido (ton)	40 000	27 000	65 000
Guayule explotado (ton)	400 000	270 000	650 000
Trabajadores de fábrica	1 500	600	900
Trabajadores complementarios	1 500	600	1 200
Trabajadores de campo	3 000	1 500	5 000
Total de trabajadores	6 000	2 700	7 100

Fuente: Investigación directa de la Sección de Estudios  
Socio-Económicos del C.I.Q.A.

**TABLA IV.5.**

**PARTICIPACION RELATIVA DEL CONSUMO DE HULES Y LATEX  
NATURALES Y SINTETICOS  
(Tons)**

<b>AÑO</b>	<b>HULE NATURAL (%)</b>	<b>HULE SINTETICO (%)</b>
1971	37.3	63.7
1972	32.8	67.8
1973	31.8	68.2
1974	31.6	68.4
1975	33.2	66.8
1976	33.0	67.0

**Fuente: A.N.I.Q.**

BIBLIOGRAFIA

- 1) Villegas Cosío Daniel. Historia Moderna de México. Tomo II, Ed. - Hermes, México 1973.
- 2) Oficio no. 101, 18 de septiembre, Secretaría de Agricultura, Mex.
- 3) Velázquez Albo Marco A. (Sección de Estudios Socio-económicos del C.I.Q.A.) Revisión Histórica de la Producción de Hule de Guayule en México. Conferencia Internacional sobre Guayule; CONAZA-CONA-CYT, agosto 1977; Saltillo, México.
- 4) Excelsior, 4 de noviembre de 1943; México, D.F.
- 5) Universal, 11 de agosto de 1944; México, D.F.
- 6) Tornel Armando. Hule Mexicano y Plasticos, 25(7); 6-9( 1969 ).

## CAPITULO CINCO

### ANALISIS TECNOLOGICO

- V.1. Butadieno y estireno.
- V.2. Hule natural de Hevea.
- V.3. Hule natural de Guayule.
- V.4. Hule sintético.
- V.5. Llantas.

## CAPITULO CINCO

### ANALISIS TECNOLOGICO

#### V.1. Butadieno y estireno.

Las industrias del butadieno y el estireno se han establecido\_ a través del monopolio estatal PEMEX. (ver el cap. de antecedentes históricos).

La tecnología empleada para la producción de butadieno es la Houdry Division of Air Products and Chemical Inc., y la tecnología del estireno es de la Universal Oil Products. Ambas tecnologías son de origen estadounidense. Esencialmente, el plan de desarrollo de los países atrasados industrialmente consiste en un trasplante de tecnología de un país desarrollado al interior de una economía subdesarrollada, que es incapaz de producirla endógenamente, como resultado de su propio proceso de evolución. La adopción de estas tecnologías está caracterizada por la importación del equipo que las incorpora. En el caso de los procesos petroquímicos en los -- cuales la maquinaria no es muy sofisticada, ésta es susceptible de fabricarse en un país con estructura industrial de metales básicos importante. La producción de bienes de capital en México para la industria petroquímica hace posible que no se importen éstos, aunque las compañías productoras son subsidiarias de compañías extranjeras, trayendo como consecuencia una dependencia tecnológica del exterior.

Las tecnologías desarrolladas en los países industrializados se han construido para las escalas de producción adecuadas al tamaño\_

de los mercados y al grado de especialización de sus países de origen. Cuando se introduce esta tecnología en los países subdesarrollados, que por definición poseen un bajo nivel inicial de demanda global, la disparidad entre las escalas de producción para las que están adaptadas y el tamaño de los mercados que produce, en el estado inicial del crecimiento, una estructura monopólica técnica--mente inevitable (1). Esto hace que una sola planta produzca toda la oferta del país subdesarrollado. Esto sucede en México tanto con el butadieno como con el estireno.

En el caso de un monopolio estatal como PEMEX, la inversión de las ganancias acumuladas está limitada por la sustitución de importaciones y ésta a su vez del tamaño del mercado y por la tecnología disponible. Desde este punto de vista PEMEX al estar imposibilitado, debido al mercado interno, a invertir las ganancias de la industria en un petroquímico, puede por medio de la diversificación invertir en otro petroquímico que se importe, siempre y cuando el mercado interno permita adoptar una escala de producción adecuada.

La selección de tecnología de PEMEX se hace en base a un concurso, en el cual participan las firmas licenciadoras más importantes en el ramo. Una vez que se presentan los trabajos, PEMEX selecciona el más adecuado desde el punto de vista de mercado y tecnología. Ya que se ha obtenido la tecnología se procede a la construcción de la planta. Las tablas V.1. y V.2. presentan el consumo y programa de producción de los monómeros butadieno y estireno.

Para el butadieno la proyección del consumo se basa en un 98% en el incremento en el consumo del hule sintético; en esta tabla -

se puede observar que la segunda planta productora de butadieno se instalará en Allende, Ver. y podrá entrar en operación en 1981, año en que el consumo interno permite un 70% de capacidad para esta -- planta. Una tercera planta estará en operación, a un 70% de capacidad basado en el consumo interno, en 1983. Esto permitira que - en 1983, la industria del butadieno pueda cubrir el mercado interno, sin necesidad de importar este petroquímico básico.

Se puede ver también en esta tabla de proyecciones, que la -- producción de butadieno en 1977 no se ajusta a la presentada en la tabla I.5.1. debido a las dificultades técnicas que se han presentado en la planta de Cd. Madero, que han provocado que ésta opere\_ a un 43% de su capacidad y no al 80% pretendido.

La proyección del consumo de estireno está basada en los consumos de éste por las industrias del poliestireno y hule sintético, con 69% y 25% del mercado respectivamente. También la tabla IV.2. muestra que el mercado interno permitirá instalar una segunda planta de estireno en la Cangrejera, Ver. Esta planta tendrá tecnología - de Monsanto-Lummus. Al instalarse esta última planta se podrá cu-- brir por primera vez el mercado interno. Una tercera industria del estireno se podrá instalar en 1984, empezando a operar a un 70% de\_ su capacidad, y con objeto de satisfacer la demanda proyectada en - ese año.

Si bien el grado de integración de la industria petroquímica - permite la fabricación de bienes de capital dentro del país, los fa\_ bricantes son subsidiarios de empresas extranjeras. Esto establece que el multiplicador de la inversión en la industria petroquímica,\_ en un país subdesarrollado como México, no tenga tanto impacto como

lo podría tener en un país desarrollado. Debido a que la tecnología y parte de los bienes de capital son importados, el producto y el empleo interno generados por un monto de inversión sufrirá -- siempre una disminución proporcional a la participación de las importaciones. (2).

La industria petroquímica básica ofrece un campo, el cual se presenta adecuado para racionalizar la estructura tecnológica en -- lo que se refiere a la producción de bienes de capital. Para ésto se debe implantar una política tecnológica que estimule un proceso innovativo autónomo, a partir de la cual se amplie la capacidad productiva interna de bienes de capital normalizados. Esta política -- requiere de la intervención del Estado para producir un programa -- tecnológico capaz de inducir un mayor crecimiento económico para -- el país (3).

#### V.2. Hule natural de Hevea.

La técnica de cultivo que se emplea en México, es de las más avanzadas del mundo puesto que desde 1941 el INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas), en un principio junto con investigadores norteamericanos, a través del campo experimental "El -- Palmar" ha venido desarrollando los métodos de cultivo, de extracción y de adaptación del árbol. Por otra parte, investigadores -- mexicanos han viajado para intercambiar técnicas con los países -- del sur-este asiático.

Por lo que se refiere a la tecnología para el cultivo del Hevea brasiliensis, México posee una de las más avanzadas, a la vez -- que cuenta con un campo experimental y un grupo de investigadores --

destinados a la cultura de este árbol.

Los métodos para la recolección del látex en todo el mundo son intensivos en mano de obra; ésto hace que aquellos países cuyo nivel de ingresos es alto están en desventaja con los de nivel de ingreso bajo. Aquí es importante hacer notar que los países con mayor producción, como lo son Malasia e Indonesia poseen mano de obra muy barata y elástica, los salarios en la región del sur-este asiático son salarios de hambre.

Las beneficiadoras en Las Choapas, Acayucan, Tezonapan y Tuxté pex, todas son de inversión privada a excepción de la última que pertenece al INMECAFE. La tecnología usada en las beneficiadoras es tan atrasada, que la maquinaria importada de los Estados Unidos estaba, almacenada en el país como maquinaria vieja. Se presenta en la producción de hule natural un caso en que los métodos de producción y la rentabilidad de la industria es sumamente baja; ésto a su vez provoca una acumulación de capital muy baja y una nula inversión.

Además la producción del hule natural de Hevea presenta estructura oligopólica y con una muy baja escala de producción. Aunque el mercado interno, del cual las llantas constituyen el 75%, es mucho más grande que la actual producción, la industria del hule no se ha desarrollado debido a los altos costos de la mano de obra y al atincheramiento de los propietarios de beneficiadoras de hule. Esto último ha provocado que no se empleen tecnologías mas nuevas, debido a que empresarios como Miguel A. Cordera propietario de la beneficiadora de Tezonapan y antiguo director del INMECAFE, han impedido la importación de maquinaria nueva argumentando que ya exis-

ten beneficiadoras. Esto ha provocado que el precio del hule natural en el país sea superior al del mercado internacional, el consumo de este hule es obligatorio para poder importar el faltante. Se vislumbra aquí que sólo una reforma sustancial desde los métodos de sangrado hasta el beneficio hará posible un desarrollo integral de la industria del hule natural de Hevea.

Otra limitante del desarrollo de la industria es que grandes monopolios como Goodyear y Firestone y otros controlan la producción de hule natural en el mundo, pudiendo bajar sus precios sin resentir pérdidas a largo plazo; puesto que estos monopolios controlan también la producción de productos elaborados como las llantas, estas bajas en los precios hacen crítica la subsistencia de los productos nacionales.

En México se ven claramente los efectos de esta explotación de una estructura preindustrial (hule natural) por una estructura capitalista (llantera).

### V.3. Hule natural de Guayule.

El Guayule explotado en tiempos pasados, ha tomado un nuevo impulso como productor de hule natural. En México se ha proyectado la instalación de una planta, con tecnología desarrollada en el CIQA, (ver capítulo II).

Es importante hacer notar que dicha planta esta proyectada para explotar el guayule silvestre. Se pretende que este proyecto sea el resorte que encamine la investigación y la inversión a la explotación de este arbusto. Una vez instalada esta planta, para acelerar el desarrollo de esta industria, las investigaciones deberán ser en caminadas a la cultura de este arbusto, a la mejora del rendimiento

de hule del mismo (tal como se hizo con el Hevea) y a buscar también métodos adecuados de cosecha; sin estas investigaciones, el desarrollo de la industria basada en el recurso silvestre, es poco alentador como ya se vio en los antecedentes históricos.

Otro aspecto muy importante es la organización campesina bajo la cual será explotado el arbusto. La zona donde crece el guayule es desértica y sus habitantes viven en la pobreza y en continua emigración. Por ésto, una agroindustria que de bastantes empleos es deseable; pero también se deben cuidar los niveles de eficiencia, para poder competir en precio con el mercado mundial del hule natural. La etapa de industrialización del recurso en la que se podrá generar más empleos a los campesinos de la zona, es el cultivo del guayule, por lo que se deberá dar una importancia a la plantación de éste. Deberá ser prioritario en todo momento que los beneficios de la industrialización del guayule, recaigan sobre las masas más necesitadas de la región que son los trabajadores del campo.

El CIQA (Centro de Investigación de Química Aplicada) en el aspecto químico y de proceso, y el CENIZA (Centro Nacional de Investigación de Zonas Áridas) en el aspecto agrícola, conforman una infraestructura de investigación que podrá hacer que la industria del hule natural del guayule no dependa tecnológicamente del exterior y que se desarrolle de acuerdo a las necesidades y posibilidades del país.

#### V.4. Hule sintético.

La industria de producción de hule sintético está formada por dos firmas HUMEX Y NEGROMEX que constituyen una estructura oligopólica. La tecnología empleada por HUMEX es de origen canadiense y -

está licenciada por Polysar Limited Corp. (antes Polymer Limited -- Corp.) y la tecnología empleada por NEGROMEX es de origen norteamericano, licenciada por la Phillips Petroleum Co. La participación en las inversiones es de 60% de capital mexicano y 40% de capital extranjero. Por lo que se refiere al capital mexicano de HUMEX, éste es propiedad de Petroleos Mexicanos.

La estructura oligopólica nace como una consecuencia del tamaño de mercado y de la disponibilidad de tecnología de los países desarrollados. Alternativas limitadas en la adopción de técnicas y escalas de producción que se presentan a los países subdesarrollados, provocan la creación de estructuras monopólicas u oligopólicas, aún en industrias como la de hule sintético que en países avanzados son más bien competitivas.

La producción de bienes de capital importados en la inversión de estas empresas de petroquímica secundaria es similar a la de la petroquímica básica. La diferencia en estas dos empresas está en su estructura de capital; el licenciador de tecnología al proporcionarla, generalmente entra en el capital de inversión como accionista. En las dos empresas en México éste ocurre con una participación en el capital de un 40%. Estas empresas oligopólicas dependen del intercambio de tecnología con las firmas extranjeras de que son subsidiarias. El mercado reducido no permite cambios sustanciales en la tecnología; esto hace que una vez estructurado el oligopolio, las empresas se atrincheran con su tecnología, impidiendo que firmas con tecnología más avanzada se instalen. El mercado tan reducido permite por tanto la estructuración del oligopolio, que impide, al paso del tiempo, que se instalen tecnologías más modernas. Mien

tras el mercado no permita por la escala poner otra planta de tecnología más eficiente, estas empresas trasladan con facilidad sus inversiones a cualquier otro lugar, y en el caso del capital extranjero en particular a su país de origen, antes de aceptar una tasa de ganancia más baja; por lo general estas empresas establecen los precios aumentando su tasa de ganancia.

Una estructura oligopólica, la cual está basada en economías de producción a gran escala y que a la vez tienen restricción de expansión adicional en la industria original debido al tamaño de mercado, está obligada para su expansión a la inversión de nuevas áreas de actividad. Más aún, como en el caso que nos ocupa, la industria del hule sintético en México opera por debajo de su capacidad nominal. La capacidad ocupada por esta industria en 1968 era del 38% y para 1977 operaba a un 70%.

La estructura oligopólica que forman HUMEX y NEGROMEX está basada en la sustitución de importaciones, a la vez que está protegida por el Estado, que se guarda la facultad de expedir nuevos permisos para la producción de hule sintético.

La necesidad de diversificación de las industrias del hule sintético, se presentó en México de la siguiente manera: NEGROMEX era en sus inicios una compañía que sólo producía negro de humo como lo es el hule sintético, así en el Diario Oficial del 22-X-65 se le concedió permiso a NEGROMEX de fabricar hule sintético. Por otro lado HUMEX empezó fabricando hule sintético para después diversificarse con la fabricación de negro de humo, obteniendo permiso para producirlo por decreto aparecido en el Diario Oficial del 1-X-79. Así nos encontramos ante empresas que forman un oligopolio cuya di-

versificación debido a la falta de canales de inversión se hace palpable.

#### V.5. Llantas.

Las más importantes empresas llanteras son transnacionales de origen norteamericano. Estas empresas, enumeradas en el capítulo III, usan tecnología, como es de esperarse, de sus firmas matrices. Esta tecnología se caracteriza por ser muy sofisticada.

Al contrario de las industrias petroquímicas, para esta industria la totalidad de los bienes de capital son importados. Es aquí en una industria de productos terminados donde se acentúa la dependencia tecnológica, de tal manera que estas empresas no se pueden desarrollar, sino incorporan bienes de capital importados. También aquí son palpables los intereses de las firmas extranjeras, de tal manera que las decisiones que afectan el financiamiento de dichas firmas, que en buena parte representan intereses de alcance mundial dependen, en lo fundamental de factores que tienen muy poco que ver con las economías en cuyo seno operan.

Esta estructura oligopólica formada por las industrias transnacionales, está delimitada por el tamaño de mercado. Este en México es muy pequeño comparado con el de la USA de donde son originarias estas compañías. La proporción es tan desigual en las escalas de producción que alcanza una relación 100:1; esto provoca que las empresas transnacionales para obtener una tasa de ganancia elevada con una escala tan pequeña, eleven los precios de los productos.

Las inversiones estarán limitadas por el tamaño del mercado y la estructura oligopólica. Las inversiones en este sector industrial tendrán mucho menor impacto que las hechas en la industria petroquímica.

mica, debido a que la industria llantera ocupa gran parte de su inversión en el licenciamiento de tecnología y en la importación de todos sus bienes de capital.

Esta dependencia de bienes de producción se acentúa más debido a la heterogeneidad en el mercado mundial, que es producto de la competencia a escala mundial de los productores de maquinaria y equipo, lo que ha llevado a diseñar diferentes diseños específicos. Aunque el grado de monopolio limita el número de competidores en el mercado, la competencia de monopolios lleva también a una mayor integración en los diseños tecnológicos de cada productor, de manera que no siempre son intercambiables los distintos equipos que integran el proceso productivo, si son adquiridos de fuentes diversas (3). Esto último se muestra sensiblemente en la industria llantera en México, formada por las cinco transnacionales más importantes en el ramo en los Estados Unidos, que adquieren equipo específico para sus diseños en su país de origen, creando por tanto en México sus filiales una heterogeneidad en la maquinaria empleada. Estos aspectos de dependencia tecnológica limitan la capacidad de integración de la industria en el proceso de sustitución de importaciones de los países subdesarrollados.

México es un país que ha logrado desarrollar un sector de ingeniería pesada, lo que le permite una mayor autonomía para normalizar los procesos productivos de las ramas consumidoras de bienes de capital, siendo a la vez menos vulnerable a la rigidez estructural que impone la heterogeneidad de estos equipos en un proceso paulatino de sustitución de importaciones (4). Pero el país no debe conformarse con el simple hecho de sustituir importaciones de bienes

de capital, sino que por medio de una política adecuada, diseñar de manera autónoma los bienes de capital necesarios para la integración de la industria, eliminando así la heterogeneidad tecnológica, que es una limitante para el proceso de crecimiento.

La industria petroquímica es un campo que se puede atacar para lograr una homogeneidad tecnológica en los bienes de capital, pero debido a que las compañías productoras de los mismos son filiales - de compañías extranjeras no se logra eliminar la heterogeneidad tecnológica, por lo que es necesario que el Estado implante una política encaminada a investigar diseños propios para fabricar bienes de capital, y que estén de acuerdo éstos con el proceso de desarrollo del país. En lo que se refiere a la fabricación de maquinaria para la industria llantera, aunque es más complicado que para la industria petroquímica, deben hacerse esfuerzos para integrar esta rama productiva, tan necesaria para el desarrollo del país.

**BUTADIENO, CONSUMO Y PROGRAMA DE PRODUCCION**  
**(TONELADAS)**  
**1976-1985**

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
<b>CONSUMO:</b>										
En la elaboración de:										
Hules SBR	27400	32677	36482	40358	45759	51249	57397	64282	70938	78031
Látex SBR	1553	2650	3650	3650	4829	5554	6387	7153	7650	8973
Hules polibutadieno	12465	14722	16287	17924	19634	21146	23270	25187	27165	29197
Hule nitrilo	602	719	790	945	1037	1070	1070	1301	1401	1509
Resinas ABS	980	1232	1454	1717	2024	2328	2677	3079	3541	4072
Consumo nacional	43000	52000	58663	65094	73283	81617	90801	101002	110675	121702
<b>OFERTA:</b>										
Produccion										
Planta Madero	19000	44000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000	55000
Planta Allende	-	-	-	-	-	21000	24000	27000	30000	30000
Planta III no definida.	-	-	-	-	-	-	-	35000	40000	45000
Producción total	19000	44000	55000	55000	55000	76000	79000	117000	125000	130000
Deficit	24000	8000	8663	10094	18283	5617	11801	-	-	-
Excedente	-	-	-	-	-	-	-	15998	14305	8218

## ESTIRENO, CONSUMO Y PROGRAMA DE PRODUCCION

(TONELADAS)

1976-1985

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
<b>CONSUMO:</b>										
En la elaboración de:										
Poliestireno	37923	38630	54366	62358	71491	81916	93815	108067	123194	140441
Resinas poliester	2629	2538	3398	3704	4037	4400	4796	5228	5893	6641
Hule SBR	12027	11948	16414	18383	20058	23824	25824	28922	32962	37577
Látex SBR	3928	3907	5366	6010	6731	7539	8444	9457	10864	12483
Resinas ABS	2629	2797	4119	4943	5931	7118	8543	9568	10865	12343
Resinas intercam- biadoras de iones	190	180	232	242	252	263	273	290	302	315
Consumo total	59326	60000	83895	95640	109030	124294	141695	161532	184080	209800
<b>OFERTA:</b>										
Producción										
Planta Madero	34890	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000	33000
Planta Cangrejera	-	-	-	105000	120000	135000	150000	150000	150000	150000
Planta no definida	-	-	-	-	-	-	-	-	70000	80000
Producción total	34890	33000	33000	138800	153000	168000	183000	183000	253000	263000
Deficit	24436	27000	50895	-	-	-	-	-	-	-
Excedente	-	-	-	42360	43970	43706	41305	21468	68920	53200

**BIBLIOGRAFIA**

- 1) Merhav Meir. Dependencia Tecnológica, Monopolio y Crecimiento. Cap. I pag. 20. Editorial Periferica, Buenos Aires, 1972.
- 2) Merhav Meir. Dependencia Tecnológica, Monopolio y Crecimiento. Cap. II. Editorial Periferica, Buenos Aires, 1972.
- 3) Leff Z. Enrique. Subdesarrollo, Dependencia Tecnológica y Bienes de Capital. Ciencia y Desarrollo 5(nov-dic); 1975.

## CAPITULO SEIS

### COSTOS DE PRODUCCION

- VI.1. Hule de Hevea.
- VI.2. Hule de Guayule.
- VI.3. Hule sintético.
- VI.4. Liantas.

## CAPITULO SEIS

### COSTOS DE PRODUCCION

#### VI.1. Hule de Hevea.

Los costos de producción del hule de Hevea se presentan en la tabla VI.1., donde los costos de sangrado y recolección representan los gastos de equipo de estas operaciones y los salarios de los campesinos que las realizan. Los costos de beneficio representan los costos de planta realizados durante el proceso de beneficio. Los costos de administración representan los salarios del personal administrativo y otros gastos.

Se observa claramente que los salarios de los campesinos que sangran al árbol y recolectan el látex representan casi la mayoría de los costos de producción. Esto hace que el desarrollo de la industria del hule natural de Hevea descansa en sobremanera en la mano de obra de los campesinos. Un país con mano de obra barata estará en mejores condiciones de competir en precios en el mercado internacional. Malasia que es el mayor productor de hule natural en el mundo tiene una mano de obra campesina muy barata, cosa que no sucede en México, razón por la cual se incrementan grandemente los costos de producción. Por otro lado los costos de producción en Malasia representan el 66% sobre el precio de venta de hule natural (1), y en México el 84% sobre el precio de venta del país. Lo anterior, basados en un precio del Kg. de hule en México en 1977 de 25 pesos, hace que los costos de producción alcancen 21 pesos; esta cifra es superior al precio internacional del hule natural en 1977, que es de 20 pesos el Kilogramo.

El futuro de la producción de hule natural de Hevea en México es muy incierto; por un lado no existe ninguna tendencia a mejorar los sistemas de producción, y por otro lado, la mano de obra del campo que es el principal costo de producción, está muy en desventaja con el sur-este asiático.

#### VI.2. Hule de guayule.

En el capítulo II de esta tesis, se hizo mención a un proyecto de una planta procesadora de guayule, basada en la explotación del arbusto silvestre. Este proyecto es importante para iniciar el aprovechamiento del recurso, pero basarse en un recurso silvestre es bastante arriesgado, a la vez que los costos de producción se incrementen por el acarreo cada vez más lejano del arbusto. Es necesario proyectar una planta procesadora basada en la explotación de un guayule cultivado y con un alto rendimiento de hule, --ésto se tratará de realizar en los párrafos siguientes.

Se tomará como base una planta de proceso que explota 20 000 Ha. plantadas de guayule. Si se asume que el ciclo de cosechas ocurre cada cuatro años, una cuarta parte de la plantación 5 000 Ha. se cosechará en un año, asumiendo que 11 200 Kgs. de arbusto seco se cosecha por Ha. (0.681 Kgs/arbusto y 17 290 arbusto/Ha.), entonces la planta podrá procesar 56.75 millones de kilogramos de arbusto anualmente. Para este análisis, se considera que los arbustos contienen un 20% de hule por lo que se podrá mantener una planta de una capacidad de 11 250 toneladas por año.

Para este análisis se estimará que la plantación y cosecha del arbusto lo harán campesinos de la zona, pero se establecerá por parte de la compañía productora de hule un vivero por cada 40 Ha.

plantadas de guayule. Estos viveros servirán para aprovisionar de pequeños arbustos de gran rendimiento a los campesinos. El arbusto en los viveros crecerá con irrigación y en el campo lo más conveniente es que se haga por riego de temporal, como se vió en el capítulo II.

La planta se proyecta para el año de 1985, ésto es para dar tiempo a que se investigue la cultura del arbusto y se mejore el rendimiento de hule, a la vez también para que se mejore el diseño de la planta procesadora basada en el recurso silvestre. Los ingresos sobre el precio proyectado para el hule en 1985 de 125.5 centavos de dólar por kilogramo, ver fig VI.1. (2). Esta proyección está por debajo de la del Banco mundial que es de 171.8 centavos por kilogramo para ese mismo año; ésto es realizando un análisis conservador.

La tabla VI.2. muestra el capital de inversión de la planta y es de 27.3 millones de dolares. La tabla VI.3. muestra los costos totales de producción para una planta con la inversión anterior. También en esta última tabla se presentan los ingresos por los subproductos (principalmente resinas) que hacen que disminuyan los costos de producción; en otra columna se presentan los costos de producción por kilogramo de hule.

Se ha observado que cuando el contenido de hule del arbusto del hule varía de un 20% a un 10%, la inversión en la planta se incrementa en un 8% (2). Cuando se tiene una capacidad de 11 350 T/A la inversión es de 27.3 millones de dolares cuando se tiene un 20% de contenido de hule, si se desea una capacidad de 22 700 T/A con el mismo contenido de hule la inversión es de 43 millones de -

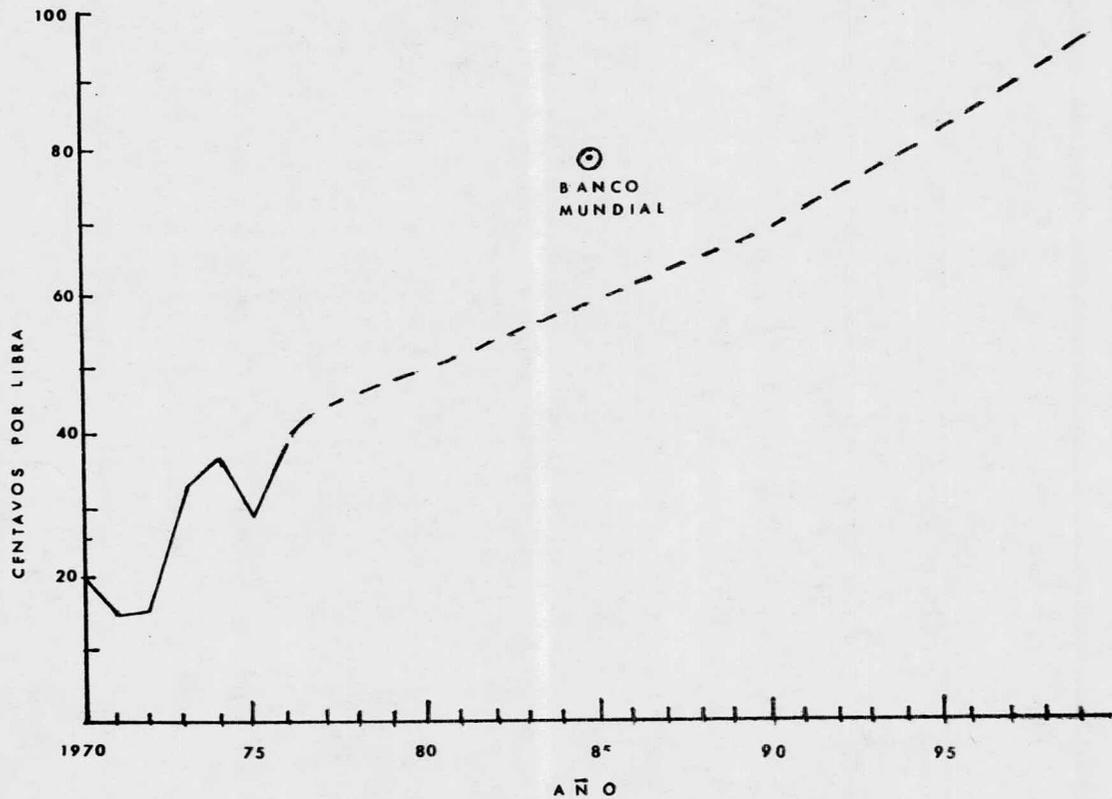


Fig.VI.1. Precio del Hule Natural

dolares y para una capacidad de 45 400 T/A de 72 millones de dolares.

Por otro lado el contenido de hule del arbusto repercute notablemente sobre los costos de producción. Si el contenido del hule es 20% el costo de producción por kilogramo es de 76.9 centavos de dólar; si el contenido del hule es del 25% de 68.5 centavos de dólar; si el contenido es del 15% de 95.2 centavos de dólar, y si es del 10% de 117.2 centavos. Por lo anterior resalta la gran importancia que tiene el contenido de hule del arbusto, por lo que se deben hacer grandes esfuerzos en investigación para mejorarlo.

Una de las grandes diferencias entre el guayule y el Hevea reside en que el primero puede reducir costos agrícolas, por medio de mecanización de todas las etapas tanto en el cultivo como en la recolección. Esto último hace que los costos de producción del guayule lo vayan favoreciendo cada vez más con el tiempo, haciendo más viable la producción de hule natural del guayule.

### VI.3. Hule sintético.

Los costos de producción del hule sintético se muestran en las tablas VI.4. y VI.5., para las empresas HUMEX y NEGROMEX respectivamente. En el caso de HUMEX el costo mayor de producción son las materias primas habiendo alcanzado un 75.5% sobre los costos en 1974. La participación tan grande de las materias primas en los costos, se debió quizá a la crisis mundial de hidrocarburos en ese mismo año; se observa también en estas tablas que la proporción de materias primas se estabiliza en los años siguientes en un 70%. La participación de los salarios en los costos, sufre un incremento en 1974, para después incrementarse continuamente hasta -

un 18.3% en 1976. Los otros costos sufren altas y bajas durante el período estudiado, notándose una tendencia al decrecimiento en su participación en los costos. Se puede observar también que los salarios al final de este período, asumen el segundo lugar, desplazando a los otros costos en la participación de los costos totales. Por lo que se refiere a NEGROMEX, la participación de las materias primas sobre los costos de producción sufre un menor incremento que en HUMEX en 1974. Esto se debió a que para ese año, en el que entra bajo control de precios del hule sintético, NEGROMEX tenía almacenados hidrocarburos. La participación de los salarios sufre altas y bajas y a diferencia de la estructura de costos de HUMEX, en NEGROMEX el parámetro de salarios permanece en el tercer escalón de los costos. También se puede observar en tablas, que la participación en los costos de producción.

En las tablas VI.5. y VI.7. se muestran las utilidades de ---- HUMEX y NEGROMEX respectivamente. El porcentaje de utilidades sobre ventas en HUMEX alcanza un 24.5% en 1973, para sufrir una caída -- considerable hasta 9.6% de pérdidas; en 1976 esta empresa vuelve a tener utilidades de un 16.7% sobre ventas, debido al aumento de -- precios en ese año. NEGROMEX como se puede ver tiene mayores utilidades en el período estudiado, tanto que no sufre pérdidas durante la crisis de 1974 y 1975; sus utilidades en 1973 fueron de 25.9% sobre las ventas, para después caer a un 5.3% en 1975 y en 1976 incrementarse a un 18.7%.

#### VI.4. Llantas.

Los costos de producción de Goodyear-Oxo, una empresa muy representativa en el ramo de las llantas, por ser poco diversificada

y la mayor productora de llantas, se muestra en la tabla VI.8. En esta tabla se observa que las materias primas representan el mayor costo de producción de las llantas, representando para 1976 el --- 55.4% sobre los costos; la participación de los salarios en los -- costos de producción sufre un decremento en 1974 para después incrementarse continuamente. La estructura en los costos establece que al principio del período estudiado los "otros" costos representan el segundo parámetro importante, pero al final del mismo, éstos -- son desplazados por el parámetro salarios.

En la tabla VI.9. se muestran las utilidades de la Goodyear - en el período de 1973-1976; se observa que el precio de utilidades sobre ventas decrece de un 28.7% en 1973 a un 16.6% en 1975, para después incrementarse debido al aumento de precios de las llantas en 1976 a 20.4%. También es claro que la crisis de hidrocarburos afectó en menor cuantía a la industria llantera que a la hulera.

**TABLA VI.1.**  
**COSTOS DE PRODUCCION DE HULE NATURAL DE**  
**HEVEA 1977**

	<b>%</b>
Sangrado y recolección	62.0
Fertilizantes	4.8
Beneficio	17.9
Administración	11.9
Empaque y transportación	3.4
	<hr/>
	100.0
% de los costos de producción sobre los precios de venta.	84.0
% de utilidades sobre ventas.	16.0

Fuente: (1).

TABLA VI.2.  
INVERSION EN LA PLANTA DE GUAYULE  
(11 350 T/A)

SECCION DE PROCESO	MILES DE DOLARES
Deshojado	1 450
Molienda	990
Extracción con acetona	1 950
Extracción con hexano	2 400
Recuperación de acetona	1 780
Recuperación de hexano	1 680
Secado de hule	2 180
	<hr/>
	12 470
Servicios	5 560
Construcción	3 050
Preparación del terreno	1 130
	<hr/>
	22 210
Contingencia (16%)	3 550
Escalación (6%)	1 550
	<hr/>
	27 310

Fuente: (2).

TABLA VI.3.

COSTOS TOTALES DE PRODUCCION  
(11 350 T/A)

COSTO DE PLANTA 27.3 MILLONES DE DOLARES

Costos de producción	Miles de dls/A	cvs/Kg. de hule
Materias primas	4 505	39.4
Salarios y otros costos	7 995	70.5
	12 500	109 .9
Subproductos	3 800	33 .0
	8 700	76 .9
% de utilidades sobre el precio de venta	63.2	

Fuente: (2).

8/6/60

TABLA VI.4.

COSTOS DE PRODUCCION DE HUMEX

	1973		1974		1975		1976	
	Millones de pesos	%	Millones de pesos	%	Millones de pesos	%	Millones de pesos	%
Materias primas	90.5	54	262.1	75.5	253.2	69.4	266.5	70.1
Salarios	25.2	15	35.2	10.1	50.3	13.5	69.6	18.3
Otros costos	52.1	31	49.6	14.4	61.3	16.8	44.1	11.6
Total	167.8	100	346.9	100.0	364.8	100.0	380.2	100.0

Fuente: Investigación personal.

TABLA VI.5.

UTILIDADES DE HUMEX

	1973	1974	1975	1976
	Millones de pesos	Millones de pesos	Millones de pesos	Millones de pesos
Ventas netas	222.4	316.5	363.9	443.7
Costos de producción	167.8	346.9	364.8	380.2
Utilidades	54.6	-30.4	-10.9	83.5
% de las utilidades sobre ventas.	24.5	- 9.6	- 0.02	16.7

Fuente: Investigación personal.

TABLA VI.6.

COSTOS DE PRODUCCION DE NEGROMEX

	1973		1974		1975		1976	
	Millones de pesos	%						
Materias primas	86.8	46.4	165.6	55.7	188.1	46.7	260.0	61.6
Salarios	19.4	10.4	26.2	8.8	51.6	12.8	42.6	10.1
Otros costos	81.0	43.2	105.5	35.5	163.2	40.5	119.5	28.3
Total	187.2	100.0	297.3	100.0	402.9	100.0	422.1	100.0

Fuente: Investigación personal.

TABLA VI.7.

UTILIDADES DE NEGROMEX

	1973	1974	1975	1976
	Millones de pesos	Millones de pesos	Millones de pesos	Millones de pesos
Ventas netas	252.8	373.3	425.5	519.2
Costos de producción	187.2	297.3	402.9	422.1
Utilidades	65.6	75.7	22.6	97.1
% de utilidades sobre ventas	25.9	20.2	5.3	18.7

Fuente: Investigación personal.

TABLA VI.8.

COSTOS DE PRODUCCION DE GOODYEAR-OXO

	1973		1974		1975		1976	
	Millones de pesos	%						
Materias primas	361.3	46.1	503.2	52.8	586.4	48.2	769.6	55.4
Salarios	174.8	22.3	173.5	18.2	259.1	21.3	358.4	25.8
Otros costos	247.8	31.6	276.4	29.0	371.1	30.5	261.2	18.8
Total	783.7	100.0	953.1	100.0	1 216.6	100.0	1 389.2	100.0

Fuente: Investigación personal.

TABLA VI.9.

UTILIDADES DE GOODYEAR-OXO

	1973	1974	1975	1976
	Millones de pesos	Millones de pesos	Millones de pesos	Millones de pesos
Ventas netas	1 099.2	1 253.4	1 458.7	1 745.5
Costos de produc- ción	783.7	953.1	1 216.6	1 389.3
Utilidades	315.5	300.3	242.1	356.3
% de utilidades sobre ventas	28.7	23.9	16.6	20.4

Fuente: Investigación personal.

BIBLIOGRAFIA

- 1) D'anni J., Rogers T.H., Fenelli A.F. and Sinclair E.A. (Goodyear-Tire and Rubber Co.); Rubbers Economics. Conferencia Internacional sobre guayule, CONAZA-CONACYT, Agosto de 1977, Saltillo Mex.
- 2) Nivert J.J., Glymph E.M. and Snyder C.E. (Firestone Natural Rubber and Látex Co.); Preliminary Economics., Analysis of guayule Rubber Production. Conferencia Internacional sobre Guayule CONAZA-CONACYT, Agosto 1977, Saltillo Mex.

## **CAPITULO SIETE**

### **INTERRELACIONES INDUSTRIALES**

- VII.1. Materias primas.**
- VII.2. Producción y consumo.**
- VII.3. Tipo de propiedad.**
- VII.4. Tecnología empleada.**
- VII.5. Precios.**
- VII.6. Costos de producción, ventas y ganancias.**
- VII.7. Relaciones en la producción de hule natural de guayule y hule natural de Hevea.**

## CAPITULO SIETE

### INTERRELACIONES INDUSTRIALES

#### Materias Primas.

Las tablas V.1. y V.2. muestran que el 98% del butadieno y el 25% del estireno producidos son consumidos por la industria del hule sintético. Esto demuestra la gran dependencia de la industria hulera del abastecimiento de estos monómeros, sobre todo del butadieno.

El hule natural se produce a partir de una fuente vegetal; el hule de Hevea usa como materia prima el látex de Hevea brasiliensis, y el hule de guayule usa como materia prima el arbusto del mismo nombre. La industria del hule natural de Hevea, se desarrolló lentamente de 1962-1967 (ver capítulo IV), para después estancarse, debido a deficiencias en el aspecto organizativo, financiero y político del Programa Nacional para la Producción de Hule Natural. Otra alternativa para la producción futura de hule natural, es el guayule, un amplio proyecto se presentó en el capítulo anterior.

La industria llantera consume como principales materias primas al hule sintético y al natural. Esta industria acepara aproximadamente el 70% del consumo del primero y el 75% del segundo. Un ligero cambio en la producción y precios de estos productos acarrearía cambios sustanciales en la estructura de costos y utilidades de la industria llantera.

Es importante hacer notar, que el consumo de hule natural se hace a base a las importaciones. Las plantaciones del sur-este asiático están controladas por las mismas empresas que conforman el

oligopolio que controla la producción de llantas en México. Por lo que no se debe perder de vista que, para estas empresas, la importación de hule natural implica pagos a sí mismas, y su adquisición a muy bajo costo.

También existe una relación en el consumo de hule natural y sintético. Esta relación, por razones técnicas, se ha establecido en un tercio del consumo para el hule natural y en dos tercios para el hule sintético. La participación en el consumo de hule, del hule natural, fue decreciendo a partir de la Segunda Guerra Mundial, debido a que el hule sintético fue ganando mercado como sustituto del natural, hasta que por razones técnicas ya no pudo sustituirse en una proporción más alta. La gran resistencia al impacto y baja generación de calor hacen insustituible al hule natural sobre todo en llantas de gran tamaño (camión, agrícolas, avión, etc.).

#### VII.2. Producción y Consumo.

La producción de butadieno ha sufrido una serie de variaciones. A partir de que se instaló la planta de Cd. Madero, la producción es baja, tanto que solo ocupó el 42.4% de la capacidad instalada en 1977; este bajo aprovechamiento de la capacidad industrial se ha debido a dificultades técnicas en la operación de la planta. El consumo de butadieno a principios de la década se incrementó a un promedio de 9.1%, pero a partir de 1975 decreció por el aumento de inventarios de la industria hulera en el año anterior; se espera que para los próximos años el consumo de butadieno crezca a su ritmo normal. La producción de estireno en la década, sin contar los años de 1974 y 1975, ha crecido a un promedio de 13.5% anual, el aumento de la producción se ha debido a la plena ocupación de la capacidad

instalada y aumentos de esta capacidad. La productividad de la planta de Cd. Madero ha aumentado ultimamente al añadirsele un calentador y un reactor. El consumo de estireno, sin tomar en cuenta el año de 1974, ha crecido a un ritmo anual de 17.5%.

La producción de hule sintético se ha incrementado sin tomar en cuenta los años de 1974 y 1975, a una tasa de 13.5% anual. El consumo de hule sintético ha crecido en la década, sin tomar en cuenta 1975, a un 12.9% anual. La producción de hule natural se ha estancado en 4 000 T/A, pero el consumo se ha incrementado a partir de 1973, a una tasa de 10.7% anual. La producción de llantas sin tomar en cuenta la crisis petrolera de 1974 y 1975, creció a un 13.9% anual y su consumo a un 14.5%.

La capacidad empleada en la industria hulera se incrementó de un 38% de la capacidad instalada en 1968 a poco mas del 70% en 1977. No se tienen datos para la industria llantera, pero se estima que ésta opera igual que la industria hulera por debajo de la capacidad instalada.

El incremento de la producción de estireno, hule sintético y llantas en los últimos años es casi idéntico. Esto demuestra sobre todo que la industria del hule sintético y llantera estan íntimamente ligadas en cuanto a su producción.

### VII.3. Tipo de Propiedad.

La industria de los monómeros butadieno y estireno pertenece por ley al monopolio estatal de PEMEX. En esta estructura, la diversificación productiva a que conduce la acumulación de capital, se lleva a cabo con relativa facilidad por medio de la política de sustitución de importaciones en alguna otra rama de Petroquímica básica.

El monopolio que forma PEMEX, también le permite esperar a que el mercado interno posibilite la operación con el tamaño óptimo de planta, a la tasa anual esperada de utilización de la capacidad (1). La escala de producción está dada por las tecnologías disponibles - de los países desarrollados; estas escalas son muy grandes en comparación con el mercado interno de los países subdesarrollados, por lo que la instalación de una planta requiere un aumento creciente - del mercado interno y un consumo que permita ocupar una parte de la capacidad instalada.

Una posibilidad para instalar una planta cuando el mercado interno es pequeño y no crece con suficiente rapidez, es que parte de la producción se encamine a la exportación. Pero debido a que los costos de capital, así como los laborales, declinan bastante al aumentar la escala de producción (2), y ya que los países desarrollados puedan adoptar escalas mayores, están mejores las condiciones de absorber el mercado externo, por lo que las exportaciones son salida de la trampa que presenta el reducido mercado interno.

Una estructura monopólica estatal como la de PEMEX, constituye un orden mas racional y tiene un potencial mayor de crecimiento, ya que el control sobre el excedente y sobre su modo de utilización depende del control sobre los medios de producción.

La industria del hule natural de Hevea, es una industria mexicana con participación estatal. El estado primitivo de la tecnología empleada, así como el elevado costo de la mano de obra, no han permitido el desarrollo de esta industria. En el proyecto presentado para producir hule natural de guayule, debe considerarse que la industria sea manejada por el Estado o con participación mayorita--

ria de ésta, por lo que lo expuesto anteriormente y para que los -- fines sociales esperados puedan lograrse.

La industria de hule sintético, al incorporar técnicas de los\_ países desarrollados y con ellas escalas de producción que son gran\_ des en comparación con el tamaño del mercado inicial, provocó que - se creara una estructura oligopólica.

El desarrollo de la industria del hule sintético a través de - esta estructura formada por HUMEX y NEGROMEX, estará limitada por - los mercados estrechos, que se podrán expandir sólo parcialmente -- por medio del ingreso generado por la inversión. La disminución -- del efecto multiplicador de la inversión se debe a que gran parte - de los bienes de capital necesarios para ella se importan. Por lo\_ que mientras no exista una industria de bienes de capital nacional\_ y autónoma, las inversiones sólo expandirán el mercado interno en - forma fraccionaria, y la poca expansión del mercado reducirá el in- centivo a la inversión (3).

Todo ésto hace que el oligopolio con participación de capital\_ estatal privado, estadounidense y canadiense, tenga pocas perspecti-- vas de expansión y se caracteriza por tener una capacidad instalada ociosa. Esta capacidad ociosa en sus inicios llegó a ser de un 62%.

La industria llantera es un oligopolio formado por los princi- pales transnacionales norteamericanas de este ramo. En esta estruc- tura son palpables los intereses de las firmas extranjeras, ya que\_ se anteponen a las decisiones que se toman para el desarrollo de la industria en México. Por otra parte, la industria llantera esta li- mitada por el tamaño del mercado; debido a la estrechez de éste y a la escala empleada, los costos de producción son demasiado altos --

comparados con los de los países industrializados. La estructura oligopólica, el tamaño del mercado y los intereses extranjeros impiden el adecuado desarrollo de la industria llantera en México.

#### VII.4. Tecnología empleada.

La tecnología empleada por PEMEX para la producción de butadieno y estireno es de origen norteamericano. En el capítulo II se estudió con cierta profundidad la tecnología empleada por estas industrias; así se analizan los problemas que implica insertar una tecnología de un país desarrollado en el seno de un país subdesarrollado. Las nuevas plantas de butadieno y estireno en proyecto también usarán tecnología norteamericana.

La industria del hule natural utiliza una tecnología sumamente anticuada, y ésta es también de origen norteamericano. La industria del hule sintético usa tecnología norteamericana (NEGROMEX) y canadiense (HUMEX). La industria llantera está constituida por transnacionales norteamericanas, y la tecnología empleada es por consiguiente también del mismo origen.

Las industrias analizadas están estructuradas en base a la tecnología generada en los Estados Unidos, y por lo tanto dependen para su desarrollo de ésta. La industria cuya dependencia es mayor, es la industria llantera, ya que importa todos los bienes de capital que utiliza; por consiguiente, aparte de importar la tecnología necesaria para el proceso, incorpora también tecnología en los bienes de capital. La industria Petroquímica consume la mayoría de sus bienes de capital en el país, pero las fábricas que los producen son subsidiarias que firman extranjeras, por lo que también incorporan tecnología del exterior.

La dependencia de estas industrias de la tecnología de los países desarrollados, hace que formen estructuras rígidas como monopolios u oligopolios, que impiden al país desarrollarse.

Una clara manifestación de la dependencia tecnológica es el pago de regalías tanto de NEGROMEX como Goodyear-Oxo por el uso de la tecnología de su proceso. La primera tiene gastos por regalías que alcanzan un 2% sobre los costos totales de producción y la segunda los tiene por un 3%. Estos gastos repercuten sobre la tasa de ganancia, y las empresas oligopólicas para mantenerla elevan los precios.

#### VII.5. Precios.

El decreto Presidencial del 2 de octubre de 1974 (4), puso entre otros productos bajo control de precio a los petroquímicos básicos, hule sintético y llantas.

Las razones por las cuales fue decretada una política de control de precios fueron: para evitar la inflación que se venía acentuando desde hacía tiempo y para eliminar alzas especulativas en los precios. El decreto de 1974, debido a la devaluación de la moneda, fue aumentando en septiembre de 1976 (5) con una serie de artículos bajo control.

Estos decretos establecían que los productos bajo control sólo podían elevar sus precios cuando los costos totales de la empresa solicitante, aumentaran globalmente mas del 5%, y por medio de una autorización de la hoy llamada Sría. de Comercio.

Este proceso inflacionario que venía arrastrando México desde 1954, hizo crisis en ésta época debido a que la industrialización del país se tenía en base a la importación de bienes de capi

tal. Todo esto aunado a una política de sobrevaloración de la moneda provocó presiones sobre la balanza de pagos.

Se ha observado que en los estadios intermedios y avanzados del subdesarrollo aparece una tendencia estructural hacia la elevación del coeficiente de importación. Cualquier política que quiera acelerar el desarrollo, tiende a crear una presión sobre la balanza de pagos. Son múltiples y de varia naturaleza las razones de éste fenómeno; entre ellos tiene particular importancia la elevación de la densidad de las importaciones en la composición de las inversiones. De esta tendencia resulta que cualquier política de desarrollo habrá de tener, en alto grado, las características o apariencias externas de una política inflacionaria. De ahí que la defensa de la estabilidad implica, con frecuencia, la adopción de medidas dañinas al desarrollo (6).

De lo anterior se induce que una de las principales causas, - sino la mas, del proceso inflacionario y de la devaluación de la moneda en 1976 fue la importación de bienes de capital; sus efectos dificultan la adquisición de nuevos medios de producción en un país tecnológicamente dependiente.

El control de precios provocó que tanto el butadieno y el polibutadieno-estireno, redujeran sus precios al grado, que a partir de 1976 sus precios fueran menores a los precios en el extranjero. Esto se puede ver en la tabla VII.1.

En octubre de 1977, el decreto de 1974 fue derogado (7), se suspendieron del control de precios algunos artículos, entre ellos las llantas. Este decreto también controla los precios por variación de costos y además por la productividad y la tasa de ganancia. Por este decreto también se crea la Comisión General de Pre-

cios, que tendrá al fin asesorar a la Secretaría de Comercio en el estudio y proposición de precios máximos de los artículos de consumo.

Con la liberación de la industria llantera del control, ésta podrá establecer los precios en base a la oferta y la demanda. Debido a que esta industria es un oligopolio transnacional, no existe competencia, por lo que las empresas podrán fijar sus precios, tratando de obtener las mayores utilidades.

De esta manera el Gobierno, al controlar los precios de la industria petroquímica básica (butadieno y estireno) y de la petroquímica secundaria (hule sintético), y liberar los precios en el producto terminado (llantas); se asegura a la industria llantera un suministro a bajo costo de materias primas, permitiéndole obtener ganancias considerables, subsidiadas en parte por las industrias proveedoras de sus insumos.

#### VII.6. Costos de Producción, Ventas y Ganancias.

Los costos de producción de la industria hulera y llantera, están estructurados de tal manera que las materias primas representan la proporción mayor del costo de producción (ver tablas VII.4. VII.6. y VII.8.). En la estructura de costos de producción de ---- HUMEX, la participación de las materias primas de 1973 a 1976 fluctuó entre 54% y 75.5%; en NEGROMEX esta participación durante el mismo período fluctuó entre 46.4% y 61.6%; y en Goodyear-Oxo fluctuó entre 46.1% y 55.4%. Todo esto nos lleva a concluir que más del 50% de los costos de producción de estas empresas analizadas corresponden a gastos de la adquisición de materias primas.

Es claro que una variación en el precio de las materias primas, repercute considerablemente en los costos de producción del hule -

sintético y llantas. Por razones obvias, éste sector capitalista\_ estará virtualmente interesado en modificar la función de precio - de sus materias primas, como resultado de posibles cambios adver-- sos a sus costos de producción, y como una cuestión política a lar-- go plazo. Una política de control de precios asegura a la indus-- tira hulera un suministro de materias primas, en el cual los pre-- cios no cambian considerablemente. Por otro lado, el control más\_ fuerte de esta política es sobre los precios y producción del sec-- tor tradicional, en particular la agricultura; ésto producirá un - resultado doble: en primer lugar, disminuirá el precio de los com-- ponentes fundamentales del consumo de los trabajadores asalariados y así aliviará las presiones sobre los salarios monetarios que --- fuerzan a los capitalistas a destinar una porción mayor de su pro-- ducción al pago de salarios; y en segundo lugar, disminuye el cos-- to de materias primas para la industria (8).

La sustitución de importaciones llevó a México a adoptar tecno-- logía extranjera de gran escala de producción para el mercado inter-- no, trayendo como consecuencia una marcada desventaja en costos de\_ producción. Esta desventaja hizo que se requirieran medidas protec--cionistas por parte del gobierno; entre ellas la prohibición de las importaciones.

Debido también a la gran escala tecnológica y al mercado inter-- no estrecho, se instalaron empresas oligopólicas con plantas que -- trabajaban por debajo de su capacidad instalada. Estas empresas -- oligopólicas, tanto la hulera como la llantera, para mantener una - tasa de ganancia alta, deben recurrir a subsidios u otros medios -- que finalmente recaen sobre la explotación del trabajo de las masas

populares (9). También las ganancias que pueden alcanzarse en los niveles de productividad serán menores a medida que haya de dejar a un lado la producción en gran escala por falta de mercado suficiente y, en consecuencia, los subsidios serán utilizados para aumentar la tasa de ganancia.

Para analizar los subsidios en cuanto a precios de las materias primas, se tomará el año de 1976, por ofrecer una fuente de datos que se puede interpretar mejor. El 98% del consumo de butadieno en México lo absorbe la industria del hule sintético; si se considera que la mitad de este consumo lo adquiere HUMEX y la otra mitad la adquiere NEGROMEX se obtienen datos representados en la tabla VII.4. HUMEX adquiere el butadieno para la producción de hules polibutadieno-estireno y en menor escala polibutadieno-acrilonitrilo, y NEGROMEX lo adquiere para la producción de polibutadieno y en menor escala polibutadieno-estireno.

Estos datos muestran que PEMEX subsidió a la industria huleta en 1976 con 66.2 millones de pesos. Este subsidio se obtuvo de la siguiente forma; en primer lugar de la tabla I.5.1. se determinó el consumo aparente de butadieno para el año de 1976, el 98% de este consumo resultó ser 42 202.8 ton.; en segundo lugar con la ayuda de la tabla I.7.1. y I.7.2. se determinó el valor de este consumo en el país y en el extranjero, siendo de 237.6 y 304.0 millones de pesos respectivamente; por último la resta de estos valores resultó ser de 66.4 millones de pesos. Estos datos se muestran en la tabla VII.4. En este estudio no se considera el subsidio para el negro de humo sino sólo para el polibutadieno-estireno y polibutadieno, ni tampoco la diferencia del valor del consumo de

estireno, por resultar esta muy pequeña y de mucho menor importancia que la del butadieno. En la tabla VI.5. se puede ver que de los 83.5 millones de pesos de utilidades de HUMEX, PEMEX aproximadamente lo subsidió con 33.2 millones; ésto hace que la tasa de utilidades sin el subsidio decrezca de 16.7% sobre las ventas a 11.3%. Haciendo el mismo calculo para NEGROMEX se tiene que su tasa de utilidad decrece de 18.7% sobre las ventas a 12.3%.

Ahora para el análisis de la industria llantera Goodyear-Oxo se dará por supuesto lo siguiente: la industria llantera acapara el 70% del consumo de hule sintético; dentro de la industria llantera la Goodyear-Oxo capta el 35% del mercado, por lo que se supondrá que consume el 35% de hule sintético que consume la industria llantera. El subsidio de la industria Goodyear-Oxo se obtuvo de la siguiente forma: en primer lugar de la tabla II.5. se determinó el consumo aparente de hule sintético, resultando ser de 51 240 ton., el 70% de este consumo resulta ser 35 868 ton., y el 35% de ésta cantidad 12 554 ton.; en segundo lugar de la tabla VII.1., que también fué obtenida de las tablas II.6 y II.7. y de datos de la Dirección General de Estadística, se determinó el valor del polibutadieno-estireno tanto en el país como en el extranjero consumido por Goodyear-Oxo, resultando ser de 157.5 y 166.2 millones de pesos respectivamente; por último la diferencia de estos valores nos da un subsidio de 8.7 millones de pesos (70% del consumo de hule sintético para llantas, y el 35% de este consumo para la Goodyear-Oxo). Para estos cálculos no se tomó en cuenta la producción de hule polibutadieno, que elevaría aún más el subsidio; tampoco -

se tomó en cuenta el hule natural por ser éste en su mayoría de - importación. Estos datos obtenidos se muestran en la tabla VII.5. De la tabla podemos inferir que la industria llantera en total fue subsidiada por la industria petroquímica secundaria por cerca de - 25 millones de pesos.

Estos datos muestran que tanto PEMEX y la industria petroquímica secundaria subsidiaron a la empresa llantera Goodyear-oxo un -- total de 8.7 millones de pesos; sin este subsidio la tasa de utilidades de Goodyear-Oxo disminuye de un 20.4% sobre las ventas a un 18.9%.

De las tablas de costos de producción del capítulo anterior - se puede observar que la empresa Goodyear-Oxo en el año de 1974, antes de aceptar una baja considerable de su tasa de utilidad, disminuyó sus costos de salarios recortando personal. Las empresas transnacionales antes de aceptar una baja considerable de su tasa de utilidad, disminuyó sus costos de salarios recortando el personal. Las empresas transnacionales antes de aceptar disminución - en sus grandes tasas de ganancia elevan los precios o como el caso de control de precios disminuyen sus costos de salarios.

Con la política de control de precios se observó que las empresas estatales subsidian a las empresas oligopólicas de capital extranjero. En las tablas de utilidades del capítulo anterior se puede observar que las empresas con mayor tasa de ganancia son -- NEGROMEX y Goodyear-Oxo empresas con capital privado y extranjero. Por otro lado PEMEX y HUMEX empresas con participación estatal adquieren el papel de subsidiarias de la tasa de ganancia de las primeras.

Al quedar liberadas por el último decreto del control de precios las llantas, esta situación, presentada en el parrafo anterior

se acentuará aún más; pues las empresas transnacionales llanteras\_ podrán elevar sus precios sin ningún control, y tratarán de obte--  
ner mayores ganancias que las que obtienen ahora.

VII.7. Relaciones en la producción de hule natural de guayule y -  
hule natural de Hevea.

Se ha observado que en los últimos años el precio del hule na\_  
tural en México se ha ido incrementando, al grado que es mayor en\_  
cinco pesos al precio internacional. Los costos de producción del  
hule natural de Hevea se han elevado, debido al alto costo de la -  
mano de obra y a la ineficiencia de las beneficiadoras de hule. -  
El Programa Nacional para la Producción de Hule Natural se ha topa\_  
do con problemas de organización y financiamiento que han impedido  
que esta industria se desarrolle en México. El futuro se presenta  
muy incierto; puesto que los países del sur-este asiático mantie--  
nen situaciones de competencia muy favorables que los hacen ser --  
los mayores productores del mundo.

La otra gran alternativa para la producción de hule natural -  
es el guayule. Inclusive los Estados Unidos contemplan proyectos\_  
para instalar plantas procesadoras de este arbusto. El guayule --  
tiene como ventaja sobre el Hevea, que puede ser explotado en zo--  
nas desérticas, poco aptas para la agricultura y además que puede\_  
ser cosechado con métodos modernos.

El cultivo de Hevea brasiliensis se hace por medio de tocones,  
estos tocones son pequeñas plantas de rápido crecimiento que son\_  
previamente injertados con clones de alto rendimiento de hule. --  
Estos tocones una vez plantados alcanzan una edad productiva a los  
seis años ; la producción de hule en los primeros años es muy pe--  
queña y se incrementa hasta alcanzar un máximo para después decaer.

El cultivo de guayule se hace también por un trasplante de un pequeño arbusto de alto rendimiento de los viveros al campo, el guayule se puede cosechar al cuarto año con alto contenido de hule. El arbusto una vez puesto en el campo, no necesita riego y puede soportar sequías muy prolongadas.

El contenido de hule de guayule es un parámetro muy importante en los costos de producción del hule natural a partir de él, --- cuando mayor es el contenido de hule en el arbusto menores son los costos de producción. Es importante fomentar la investigación que realiza el CENIZA para mejorar el rendimiento de hule de el arbusto, todo el futuro de la industria del hule natural del guayule estará basada en las mejoras que se hagan de su proceso de producción, de su cultivo y de su rendimiento de hule.

Los costos de producción del hule de Hevea son demasiado altos en comparación con los del guayule. El hule de Hevea tiene costos más altos que el precio internacional; en cambio el guayule, sus -- costos presentados en el proyecto del capítulo anterior, posibilita tener utilidades del 38.7% sobre las ventas en 1985. Estas utilidades tan grandes permiten, que una empresa estatal manejada adecuadamente, pueda disminuir las utilidades para beneficiar a los campesinos que cosechan el arbusto, pagándoles más por la materia prima. De tal manera que si las utilidades se redujeran de 38.7% a 18.7% - (de modo que siguen siendo grandes ganancias) los campesinos se beneficiarían con un incremento en el precio del guayule de cerca del 60%.

Aquí en este proyecto se contempla la posibilidad de que el -- Estado instale una planta intensiva en capital, que opere a niveles

de ganancia bastante altos; además para este proyecto se podrá contar con la tecnología basada en la extracción por medio de solventes del hule desarrollada en el CIQA y probada en la planta procesadora de guayule silvestre. También el Estado podrá coordinar el cultivo del guayule, que será intensivo en mano de obra, de tal manera que los mayores beneficios recaigan en las masas más necesitadas, buscando así una mejor distribución del ingreso; para el cultivo se podrá contar con la tecnología desarrollada por el CENIZA.

Por otra parte, una vez instaladas las plantas procesadoras de hule de guayule, los habitantes de las zonas que rodean a las plantas podrán utilizar el hule natural para producir artículos terminados; tales como suelas para zapatos, tacones, mangueras, etc. La tecnología necesaria para realizar este ambicioso plan podrá ser generada por el CIQA.

La instalación de plantas procesadoras de guayule en la meseta del norte de México, podrá ayudar al desarrollo de esta zona, una de las más pobres del país. Por otra parte estas plantas procesadoras podrán suministrar el hule natural que ahora se importa y es tan necesario para la industrialización y desarrollo del país. El impacto más grande de estas plantas no es el empleo que se pueda generar en ellas, sino el desarrollo del cultivo del guayule, que podrán mejorar las condiciones de vida de los campesinos en los lugares en que se ubiquen. Todo esto, es conveniente que lo maneje el Estado por constituir un orden más racional que lleve a la mejor distribución del ingreso, de tal manera que pueda tener un mayor potencial de crecimiento; ya que si el Estado controla los medios de producción, podrá controlar el excedente y su modo de utilización.

TABLA VII.1.

PRECIO POR TONELADA

AÑO	BUTADIENO		ESTIRENO		POLIBUT-EST		HULE NATURAL	
	En el país (pesos)	En el es- trajero (pesos)	En el país (pesos)	En el ex tranjero (pesos)	En el país (pesos)	En el ex tranjero (pesos)	En el país (pesos)	En el ex tranjero (pesos)
1974	-	-	6165	9782	11700	8190	10380	10380
1975	6500	5793	7000	4790	11700	10290	12060	7400
1976	5628	7202	7480	6247	12550	13240	-	12040
1977	8349	11653	10460	10016	17370	17560	25020	20000

Nota; mercado del polibutadieno-estireno (83.7% HUMEX y 16.3% NEGROMEX)

Fuente: Dirección General de Estadística. S.P.P.  
Secretaría de Comercio.  
Petróleos Mexicanos.

TABLA VII.2.

TIPOS DE HULE DE HUMEX

SIMBOLO	TIPO
HUMEX 1006	Copolímero de estireno-butadieno, seco no manchante.
HUMEX 1012	Copolímero de estireno-butadieno, seco, pigmentado, no manchante.
HUMEX 1500,1502,1509	Copolímero de estireno-butadieno, seco, manchante.
HUMEX 1712	Copolímero de estireno-butadieno, extendido en aceite, manchante.
HUMEX 1714	Copolímero de butireno-butadieno, extendido en aceite, manchante.
HUMEX 1778	Copolímero de estireno-butadieno, extendido en aceite, no manchante.
HUMEX 1516 X	Copolímero de estireno-butadieno, seco no manchante.
HUMEX N3447	Copolímero butadieno-acrilonitrilo, seco no manchante.
HUMEX N3445C	Copolímero butadieno-acrilonitrilo, seco no manchante.
HUMEX N3483	Copolímero butadieno-acrilonitrilo, seco, no manchante.
HUMEX N3883	Copolímero butadieno-acrilonitrilo, seco no manchante.

Fuente: Hules Mexicanos.

TABLA VII.3.

TIPOS DE HULES DE NEGROMEX

SIMBOLO	TIPO
SOLPRENE 200	Polímero estereoespecífico de butadieno, seco, no manchante.
SOLPRENE 277	Polímero estereoespecífico de butadieno, extendido en aceite manchante.
SOLPRENE 1204	Copolímero al azar de estireno-butadieno, seco, no manchante.
SOLPRENE 380a	Copolímero al azar de estireno-butadieno, extendido en aceite, manchante.
SOLPRENE 379	Copolímero al azar de estireno-butadieno, extendido en aceite, manchante.
SOLPRENE 375	Copolímero al azar de estireno-butadieno, extendido en aceite, no manchante.
SOLPRENE 303	Copolímero estereoespecífico de estireno butadieno, seco, no manchante.
SOLPRENE 476	Copolímero estereoespecífico de estireno butadieno, extendido en aceite, manchante.

Fuente: NEGROMEX.

TABLA VII.4.

SUBSIDIO A LA PETROQUIMICA SECUNDARIA

	CONSUMO (ton)	VALOR DEL CONSUMO EN MEXICO DE BUTADIENO (millones de pesos)	VALOR EN EL EXTERIOR DEL CONSUMO DE BUTADIENO -- (millones de pesos)	SUBSIDIO (millones de pesos)
HUMEX	21 101.4	118.8	152.0	33.2
NEGROMEX	21 101.4	118.8	152.0	33.2
TOTAL	42 202.8	237.6	304.0	66.4

TABLA VII.5.

SUBSIDIO A LA INDUSTRIA LLANTERA

	CONSUMO DE HULE SINTETICO	VALOR EN EL PAIS	VALOR EN EL EXT.	SUBSIDIO
Goodyear-Oxo	12 554	157.5	166.2	8.7

BIBLIOGRAFIA

- 1) Merhav Meir. Dependencia Tecnológica, Monopolio y Crecimiento. Pag. 133, Editorial Periferia, Buenos Aires, 1972.
- 2) Merhav Meir, Dependencia Tecnológica, Monopolio y Crecimiento. Pag. 67, Editorial Periferia, Buenos Aires, 1972.
- 3) Merhav Meir. Dependencia Tecnológica, Monopolio y Crecimiento. Pag. 91, Editorial Periferia, Buenos Aires, 1972.
- 4) Diario Oficial del 3 de octubre de 1974.
- 5) Diario Oficial del 27 de septiembre de 1976.
- 6) Furtado Celso. Teoría y Política del Desarrollo Económico. Pag. 275, Editorial siglo XXI, México, 1976.
- 7) Diario Oficial del 21 de Octubre de 1977.
- 8) Merhav Meir, Dependencia Tecnológica, Monopolio y Crecimiento. pag. 210, Editorial Periferia, Buenos Aires, 1972.
- 9) Merhav Meir. Dependencia Tecnológica, Monopolio y Crecimiento. Pag. 146, Editorial Periferia, Buenos Aires, 1972.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Que la industria del butadieno está estructurada para suministrar materia prima segura y barata a las industrias del hule sintético.

- Que el futuro de la producción de hule natural en México es muy incierto; por un lado no existe ninguna tendencia a mejorar -- los sistemas de producción, y por otro lado, el costo de la mano de obra está en desventaja con los principales países productores de hule natural.

- Que existe otra alternativa para la producción de hule natural, ésta es la explotación del guayule. Que el guayule crece en forma silvestre en el norte del país y que existe un proyecto de una planta productora de hule natural. Que el aprovechamiento del guayule por medio de estas agroindustrias representa una gran oportunidad para mejorar las condiciones de vida de los campesinos de las zonas áridas de México.

- Que la industria petroquímica y llantera, al introducir una tecnología de un país desarrollado a un país subdesarrollado como México, que por definición posee un bajo nivel inicial de demanda global, la disparidad entre las escalas de producción para las que están adaptadas estas tecnologías y el tamaño de mercado producen una estructura monopólica u oligopólica; tal es el caso de PEMEX, HUMEX y NEGROMEX, y las industrias llanteras.

- Que la dependencia tecnológica se acentúa mas en la industria llantera, ya que ésta importa la totalidad de los bienes de capital que emplea.

Que la dependencia tecnológica de la industria hulera y llantera frena su desarrollo, ya que para crecer estas industrias depen-

den de la tecnología generada en el extranjero y de la importación de bienes de capital. Al importar los bienes de producción el efecto multiplicador de sus inversiones disminuye y por lo tanto el -- mercado interno no crece como debiera de esperarse afectando la expansión de estas industrias.

- Que la industria del hule sintético está íntimamente relacionada con la producción de butadieno y estireno, pues participa en un 98% del consumo del primero y en un 25% del consumo del segundo.

- Que la industria llantera consume como principales materias primas a el hule natural y sintético, pues adquiere el 75% del consumo del hule natural y el 70% del consumo del hule sintético.

- Que la estructura de costos de HUMEX, NEGROMEX y Goodyear-Oxo tiene como principal parámetro en los costos de producción, a los costos por materias primas, siguiéndole en importancia los costos por salarios.

- Que de las empresas analizadas, la empresa con mayores ventas y utilidades resultó ser Goodyear-Oxo seguida por NEGROMEX y al final HUMEX.

- Que la Goodyear-Oxo resultó tener utilidades tan altas que alcanzaban el 28.7% de las ventas de la empresa.

- Que el control de precios del butadieno, estireno y hule sintético beneficia a las industrias transnacionales llanteras, pues asegura un suministro a bajo costo de materias primas, permitiéndole obtener ganancias considerables al poder ellas fijar sus precios.

- Que PEMEX subsidió en 1976 a la industria del hule sintético, en lo referente a materias primas con 66.4 millones de pesos; y -- que la industria del hule sintético a la llantera con 25 millones de pesos.

- Que de los 1 374.6 millones de pesos invertidos en la estructura productiva analizada (655.5 millones invertidos en las industrias del butadieno y estireno, 200 millones invertidos en la industria del hule sintético y 519.1 millones invertidos en la industria llantera), corresponde el 54% de las inversiones a PEMEX, el 42% a la inversión extranjera y el 4% a la inversión privada. Se confirma lo supuesto al empezar el estudio, pues más de la mitad de esta estructura pertenece a una empresa estatal y casi la otra mitad a empresas transnacionales.

El presente trabajo y las conclusiones obtenidas permiten hacer las siguientes recomendaciones:

- Es necesario establecer una estructura tecnológica racional por medio de una política que estimule el proceso innovativo autónomo, a partir de la cual se amplie la capacidad productiva interna de bienes de capital normalizados.

- Es conveniente que una empresa estatal controle los medios de producción de la industria productora de hule natural a partir de Hevea y de guayule, puesto que al controlar el excedente y su modo de utilización, podrá mejorar la distribución del ingreso de manera más racional que una industria de capital privado.

- Es necesario que si se van a impulsar las plantaciones de Hevea brasiliensis y de guayule, se impulse la investigación en cultivos que puedan aprovechar el terreno disponible entre las plantas, mientras y después de que los árboles y arbustos alcanzan su edad productiva. De esta manera las plantaciones podrían ser auto-finansiables y los campesinos no tendrían que esperar un largo tiempo para empezar a ver producir sus tierras.

- Es conveniente que el estado siga ampliando su participación en la industria del hule sintético. También es conveniente que -- tanto el estado como la iniciativa privada empiecen a intervenir - en las inversiones de la industria llantera; ya que estas últimas\_ representan un renglón básico para el desarrollo y bienestar ~~para~~\_ el pueblo de México, y no es adecuado que esté en manos y bajo intereses extranjeros.

- Es necesario que la industria llantera vuelva al control de\_ } precios y que por medio de él se le reduzcan sus utilidades tan -- } sangrantes para la economía del país.

- Es necesario que el gobierno invierta en empresas producti-- vas, en empresas con utilidades elevadas como la llantera, y que - no se limite a proporcionar la infraestructura necesaria y los cos tos bajos en materias primas para que las transnacionales obtengan elevadas utilidades.

- Es necesario que la estructura productiva de México y en --- nuestro caso la industria hulera y llantera esté en manos de mexicanos, para esto es necesario que se aplique una política nacionalista a la investigación, a la educación, a la adaptación y desa-- rrollo de la tecnología.