



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

Estudio Técnico Económico para la Instalación
de una Planta para la Producción de Isopreno
y Poliisopreno en México.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
Luis Octavio Romero Mallén



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.

TESIS 1978

ADQ ~~M.T. 305~~ 379

FECHA _____

PROG. _____



PRESIDENTE: ING. QUIM. ENRIQUE GARCIA LOPEZ

VOCAL: ING. QUIM. JOSE LUIS PADILLA DE ALBA

Jurado Asignado

SECRETARIO: ING. QUIM. EMILIO BARRAGAN HERNANDEZ

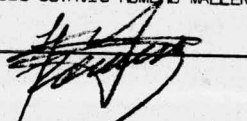
1er. SUPLENTE: ING. QUIM. GILBERTO VILLELA

2do. SUPLENTE: ING. QUIM. ALFONSO FRANYUTTI A.

Sitio donde se desarrolló el tema: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Nombre del sustentante: LUIS OCTAVIO ROMERO MALLEN

Firma del sustentante



Nombre del asesor: ING. QUIM. EMILIO BARRAGAN HERNANDEZ

Firma del asesor



Con cariño a mi esposa
y queridos hijos.

A mi querida Facultad de Química
con gratitud.

Al Ing. Emilio Barragán Hernández en agradecimiento a su valiosa ayuda y acertada dirección.

Al Ing. Carlos Rivadeneyra F.
con sincero agradecimiento —
por su orientación y estímulo.

Con aprecio a los Ingenieros
Oscar G. Malacara de la Garza,
José Nacif Narchi, así —
como a los amigos y compañeros
de Petróleos Mexicanos.

I N D I C E

CAPITULO I INTRODUCCION .

- A) PANORAMA NACIONAL .
- B) HISTORIA.
- C) DEFINICIONES .
- D) CARACTERISTICAS DE LOS HULES .
- E) TIPOS DE HULE .

CAPITULO II DESCRIPCION DEL PRODUCTO .

- A) ISOPRENO .
- B) HULE NATURAL .
- C) CIS 1,4-POLIISOPRENO .
- D) PROPIEDADES .
- E) ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO SINTETICO COMPARADAS
CON LAS DEL PRODUCTO NATURAL .
- F) USOS Y SUCEDANEOS .

CAPITULO III ESTUDIO DEL MERCADO.

- A) PRODUCCION MUNDIAL DE HULE NATURAL.
- B) FABRICACION MUNDIAL DE ISOPRENO Y CIS-1,4 POLIISO
PRENO.
- C) PRODUCCION NACIONAL.
- D) CONSUMO NACIONAL.
- E) IMPORTACIONES.
- F) EXPORTACIONES.
- G) DETERMINACION DE LAS AREAS DE CONSUMO.
- H) PROYECCION DE LA DEMANDA.
- I) DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE DISEÑO.
- J) ESTRATEGIA DEL MERCADO.
- K) DIFERENTES PROCESOS DE PRODUCCION.
 - a) DE HULE NATURAL.
 - b) DE ISOPRENO.
 - c) DE POLIISOPRENO.

L) PLANTAS EXISTENTES EN EL MUNDO QUE UTILIZAN EL PROCESO SELECCIONADO.

CAPITULO IV PROCESO DE FABRICACION.

A) DESCRIPCION.

B) CONSUMOS.

CAPITULO V LOCALIZACION DE LA PLANTA .

A) FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA LA LOCALI
ZACION DE UNA PLANTA .

B) LOCALIZACION .

CAPITULO VI EVALUACION ECONOMICA .

A) INVERSION DE CAPITAL .

B) COSTO DEL PRODUCTO .

C) ANALISIS ECONOMICO .

CAPITULO VII DISCUSION Y CONCLUSIONES .

A) DISCUSION .

B) CONCLUSIONES .

CAPITULO VIII BIBLIOGRAFIA .

C A P I T U L O I

INTRODUCCION.

- A) PANORAMA NACIONAL.
- B) HISTORIA.
- C) DEFINICIONES.
- D) CARACTERISTICAS DE LOS HULES.
- E) TIPOS DE HULE.

INTRODUCCION.

A) PANORAMA NACIONAL.

La relevancia que el hule ha tenido en el desarrollo de la civilización actual es inouestionable llegando a ser un material de enorme importancia tanto económica como estratégica al grado de que su consumo percapita es un excelente barómetro del índice de industrialización de los países.

Las industrias del transporte, química, eléctrica y electrónica, así como la tecnología espacial son fuertes consumidores de este producto. El hule es la materia prima básica para la elaboración de llantas de automóviles, camiones y toda clase de vehículos, consumiéndose en menor escala en la manufactura de otros productos de gran importancia (ref. 22).

En nuestro país, la disponibilidad de hule natural es baja, lo que ha provocado la substitución, hasta donde es posible, por hule sintético. Organismos descentralizados e iniciativa privada han intentado promover el aumento de producción de hule natural.

No obstante para cubrir la demanda actual de este producto se estima una importación de 35,000 toneladas anuales aproximadamente y el crecimiento de estas importaciones, que se había mantenido constante, se ha incrementado en los últimos años debido al aumento en la utilización de llantas radiales, por lo que es de esperarse que dentro de esta década el valor de las importaciones supere los 1,200 millones de pesos, reflejando su impacto en la balanza de pagos.

Dada la situación existente y proyectada en la producción y demanda de hule natural, se hace patente la necesidad de instalar una planta para la elaboración del sustituto sintético de este producto, el cis-1,4 poliisopreno, el cual puede ser manufacturado a partir de derivados del petróleo previa síntesis del isopreno necesario.

El objeto del presente trabajo es un análisis - de los aspectos técnico y económico para la instalación de una planta para la elaboración de isopreno y cis-1,4-- poliisopreno que permita cubrir el déficit de producción existente en el mercado doméstico, suministre productos - de mayor valor agregado susceptibles de importación, cubriendo un renglón estratégicamente importante dentro de la planta Química Nacional y coadyuvando a la integración y desarrollo de la industria Petroquímica.

B) HISTORIA.

El caucho, hule o goma elástica, tal como se conoce, es un producto de origen netamente americano. En las culturas precolombinas tanto mesoamericanas como sudamericanas, el uso del caucho (1) o ulli (2) era ampliamente difundido, empleándose para la manufactura de artículos diversos entre los que destacaron los recipientes, zapatos y pelotas de juego, muestras de los cuales han sido obtenidas del cenote sagrado de Yucatán (ref. 10,22).

Durante el descubrimiento de América, Cristóbal Colón en su relación al respecto mencionó el hule como uno de los materiales desconocidos por la cultura Europea. Este hecho y el contacto que tuvieron los colonizadores con dicho material fué intrascendente hasta el año de 1735, en que el astrónomo francés La Condamine envió de Perú a Francia, muestras de esta substancia a la que llamó "caoutchoc", nombre derivado de la denominación aborigen del material.

Su primera aplicación fué en la manufactura de gomas de borrar, siguiéndole aplicaciones de reducida importancia hasta el año de 1820 en que Charles Mc. Intosh descubrió la manera de impermeabilizar telas.

(1) Caucho -Impermeable, en idioma incá.

(2) Ulli - Del Azteca, goma elástica.

En 1839 se produjo un cambio muy importante en la utilización del hule al inventar el norteamericano Charles-Goodyear y el inglés Hancock casi simultáneamente el método de vulcarización del hule con azufre para hacerlo más durable y elástico, eliminando la adhesividad del producto natural y permitiendo su comercialización. A partir de entonces, se ha encontrado que muchas substancias afectan la velocidad de esta reacción y que con la adición de algunos materiales auxiliares se modifica o mejora el compuesto, haciendo posible el moldear o dar forma a los artículos, la cual se fija en sus condiciones finales por medio de la vulcanización.

Como resultado del incremento de la demanda hacia 1870, por iniciativa de Henry Wichkham, se llevaron a Inglaterra semillas de árboles de caucho del Brasil, haciéndose almácigos en Kew Gardens (Londres). Las nuevas plantas fueron enviadas a Malasia e Indonesia, que actualmente producen el 75 % del hule natural del mundo, a Ceilán, Siam, Indochina Francesa y posteriormente a Siberia.

Un nuevo y fuerte impulso a la naciente industria del hule se produjo en el año de 1888, cuando el ingeniero escocés John Boyd Dunlop inventó las llantas neumáticas (ref. 10,22).

Paralelamente el invento en la utilización del hule natural, la investigación de su composición y la sin tesis de productos orgánicos relacionados, empezaron a consolidar las bases de la producción de elastómeros de composición similar a la del producto natural. El aislamiento del isopreno por pirólisis del caucho natural y su polimerización a un elastómero, fueron logrados por Williams en 1860. Tres años más tarde Caventon logró la preparación del butadieno por pirólisis del alcohol amílico, seguido en 1884 por Tilden, quien obtuvo monómero de isopreno a partir de trementina. En 1912, poco antes de la primera Guerra Mundial, se obtuvo la primera patente alemana de polimerización en emulsión, en la que se polimerizó isopreno en disolución de albúmina de huevo (Pat.-No. 254672), (ref. 9).

Iniciada la primera Guerra Mundial, Alemania al ver cortado el suministro de hule natural debido al bloqueo británico, en 1915 inicia la producción del llamado "Metilcaucho" o "hule metilo" a partir de dimetilbutadieno, como solución de emergencia. En breve lapso Rusia inició la fabricación de dicho material.

Durante el período 1920-1930 se efectuó una investigación extensa que llevó al descubrimiento de la copolimerización en emulsión de butadieno y estireno y de butadieno y acrilonitrilo. Al final de este período, en 1930, se introduce al mercado el Thiocol, un polisulfuro orgánico elastómero, resistente a los disolventes y los aceites, cuya producción se inicia en los Estados Unidos, en donde en 1931, se inicia también la producción del Neopreno (originalmente Du Preño), un polímero elastómero del 2-cloro-1,3-butadieno, resistente a los disolventes - (ref. 9,22).

La continuación de las investigaciones alemanas produjo el "Buna", nombre derivado de las dos primeras letras de butadieno y de natrium (sodio), que fué usado como catalizador, siendo uno de sus primeros logros la introducción del Buna S, un elastómero de butadieno-estireno. Al producto anterior siguió, en 1936, la introducción del Buna N, un copolímero de butadieno acrilonitrilo resistente a los aceites.

Francia en 1939 patenta la fórmula de una emulsión de mercaptano y persulfato para los copolímeros de butadieno-estireno, adaptada posteriormente a la obtención del SBR como "fórmula común" (Pat. No. 843903 de julio 12 de 1939), (ref. 9,10).

A continuación, ya iniciada la segunda Guerra Mundial, se introduce al mercado el caucho butílico caracterizado por su baja permeabilidad a los gases. Sin embargo el acontecimiento histórico de mayor importancia en el desarrollo de la producción de hule sintético se produce en el año de 1941, en que la pérdida de las plantaciones asiáticas de *Hevea Brasiliensis* (árbol del caucho), a manos de los japoneses, obligó al gobierno de los Estados Unidos a firmar contratos con las compañías petroleras y productoras de hule para financiar su investigación, desarrollo y fabricación, acuerdos que duraron hasta 1955, año en que se vendieron las fábricas a empresas privadas. Durante este período la evolución de la industria del hule sintético fué extraordinaria, principiando en el año de 1942 con la iniciación de la producción del hule GR-(hule polimerizado en caliente), el cual se denomina actualmente SBR, al que correspondió la mayor parte del consumo durante los años de guerra. En 1944, se introducen al mercado los elastómeros de silicón con retención de sus propiedades elastoméricas en un intervalo muy amplio de temperaturas. En 1946, se introducen en Alemania los elastómeros de poliuretano, obtenidos por copulación de diisocianatos con complejos dihidroxilados. La producción del hule polimerizado en frío (5°C), se inicia en los Estados Unidos en 1947, siguiendo con la introducción del hule óleo-extendido en el año de 1951 (ref. 9).

Uno de los logros más importantes en la producción de hule sintético ha sido la síntesis del cis-1,4-po

liisopreno, conocido como hule natural sintético, hule coral y otros nombres comerciales y que es el equivalente - sintético del producto natural, objetivo que se logró en los años de 1954-1955, iniciándose su producción indus- - trial en el año de 1959 (ref. 9,10).

El avance tecnológico de la industria del hule- sintético ha continuado a pasos agigantados aumentando - continuamente su capacidad, así como su diversificación - habiéndose desarrollado múltiples productos para aplica-- ciones específicas como el hule de polietileno clorosulfo nado, el hule poliéster, los hules de fluor y otros de importancia.

En la actualidad la producción de hule natural- se localiza principalmente en tres regiones del mundo: - Asia Sudoriental, la parte tropical de América del Sur y - Africa Tropical representando aproximadamente la tercera - parte del consumo mundial del hule (Ref. 10).

La industria del hule comprende la producción - de monómeros o materias primas para los hules natural y - sintético, los diversos hules, la obtención del hule natu l

ral, la manufactura de productos químicos auxiliares en la fabricación del hule y finalmente la fabricación de productos de hule.

C) DEFINICIONES.

Isopreno.

Es el 2-metil-1,3-butadieno. Durante muchos años fué de bajo interés comercial usándose únicamente en la copolimerización con isobutileno para la manufactura de hule butilo.

El interés en la producción de isopreno se incrementó extraordinariamente en base a la introducción de sistemas catalizadores estereo-específicos (Ziegler-Natta, litio-aniónicos, etc) en 1956, lo que permitió la síntesis del cis-1,4-poliisopreno que es el polímero fundamental del hule natural, a partir del isopreno (ref. 4).

Hule Natural

Es la substancia sólida que se obtiene por la coagulación del látex. Es un producto plástico, no elás-

tico y no apto para ser manufacturado si no se le vulcaniza antes. Su principal constituyente es una serie de hidrocarburos isómeros de fórmula empírica C_5H_8 . Contiene antioxidantes naturales y no se deteriora como el vulcanizado. Los tipos principales que circulan en el comercio y que se obtienen del Hevea Brasiliensis, son: Láminas ahumadas, esponja pálida y parda, Para, polvo de caucho, lámina no ahumada, etc. (Miall S. y Miall L. M., - Diccionario de Química 2a. ed., pág. 227) (ref. 12).

Se le llama también caucho bruto, caucho crudo, caucho y goma elástica, pudiéndose procesar en forma sólida o como látex.

Hule Sintético.

Se denomina "Hule sintético" cualquier polímero vulcanizable sintético que tenga propiedades semejantes a las del hule (ref. 7).

Hule sintético Natural.

Polímero sintético cuya estructura y propiedades físicas semejan grandemente a las del hule natural. - Consiste de 92-99 % del cis-1,4-poliisopreno y pequeñas cantidades de otros poliisoprenos, según el proceso que -

se use en su manufactura. Se puede procesar en forma sólida o como látex.

El nombre hule puede ser aplicado al material crudo o a compuestos mezclados con azufre y otros ingredientes, así como a productos terminados. Siendo un material de escaso valor en su forma cruda, el hule se — transforma en uno de los materiales más valiosos cuando — se compone y vulcaniza (ref. 6,7).

D) CARACTERISTICAS DE LOS HULES.

Básicamente se considera al hule como una materia prima que puede ser modificada y procesada de acuerdo al uso final que se le quiera dar. Es además un material sumamente versátil en cuanto a sus propiedades ya — que puede ser aislante o conductor eléctrico, puede resistir la abrasión o desgastarse suave y rápidamente, así — como ser elástico o inelástico.

La selección y composición del tipo de hule — que deberá usarse en cada producto, depende de los requerimientos técnicos del mismo, las propiedades que se pueden obtener al componer el hule y la situación económica-involucrada.

Por mucho, el consumo más alto del hule es -- aplicado a la manufactura de llantas para las diferentes clases de transportes. Los polímeros normalmente usados para estas aplicaciones son el hule natural, el hule SBR, el potibuladieno, el cis-1,4-poliisopreno y algo de terpolímero de etileno-propileno. Para las cámaras, los -- hules usados son el hule butilo y el hule natural.

En base a la gran variedad de materiales de -- alta polimerización que exhiben las propiedades del hule -- o sea el comportamiento elastomérico, se ha hecho conve-- niente definir los tipos de hule en términos de sus carac -- terísticas físicas más bien que definirlos según su es-- tructura química.

Las pruebas físicas de los diversos hules, -- juegan un papel esencial en la tecnología del hule. A -- causa de que el amplio rango de propiedades que exhiben -- los diversos hules existentes, puede ser modificado según la composición que se le da al material, se han establecido -- métodos standard de evaluación basados en propiedades -- físicas definidas, cuyo objetivo es seleccionar, medir y -- evaluar las propiedades físicas requeridas en el producto. En la industria hulera las pruebas se hacen sobre hules -- sintéticos y naturales, materiales similares al hule, -- plásticos, cuerdas y tejidos. Los cambios aparentemente-

triviales en la formulación, composición o manufactura de un material como el hule son frecuente y suficientemente detectados en los resultados de las pruebas físicas, haciéndose patente su importancia en los niveles de investigación, desarrollo y producción (ref. 11).

La estandarización de la calidad de un producto está basada en un chequeo continuo por medio de -- pruebas físicas.

Incluido dentro del grupo de pruebas físicas y debido a las características tan particulares de los -- productos de hule, se encuentra un conjunto de "pruebas de servicio directo". Uno de los empleos más notables de este tipo de pruebas lo presenta la introducción al mercado de nuevos diseños de llantas, la que se efectúa solamente después de pruebas directas sobre carretera que comprenden millones de kilómetros recorridos. Adicionales a las "pruebas de servicio directo", en los casos posibles se efectúan "pruebas de servicio simulado" en las que se desarrollan modelos experimentales que reproducen en forma representativa al servicio destinado al producto, haciéndose, en algunos casos, estas pruebas a escala de laboratorio.

La estandarización de los procedimientos de -- prueba ha sido efectuada por la Sociedad Americana para

Prueba y Materiales (ASTM) y sus métodos son usados hasta donde es posible, lo que ha simplificado las demandas de los fabricantes de materiales crudos y de los que efectúan la composición, garantizando datos universalmente comparables.

La evaluación de los compuestos no vulcanizados, es la primera etapa en la selección de las pruebas físicas.

Los polímeros crudos pueden ser evaluados por cualquiera de las técnicas adecuadas para cualquier investigación científica. Normalmente se incluyen el análisis químico, la examinación por espectroscopía infrarroja, por resonancia magnética nuclear, la pirólisis, la cromatografía por infiltración de gel, el análisis térmico y algunos más. Por medio del plastómetro Mooney se pueden determinar la viscosidad o la plasticidad relativa del compuesto, de donde se puede obtener una estimación del peso molecular. El reómetro de extrusión Instron se usa para medir la plasticidad a diferentes esfuerzos cortantes.

Por medio del probador de tensión de Scott o del probador Instron, que ha sido mejorado electrónicamente, se determinan propiedades relacionadas con el esfuerzo a la tensión a altas y bajas elongaciones, la elonga-

ción máxima, el punto de ruptura y el módulo de elasticidad de los diversos materiales. Diversos aparatos se modernizan continuamente como el caso del aparato para la prueba de torsión de Gehman, el cual se puede operar por medio de sistemas de control automático a temperaturas que fluctúan entre el ambiente y -160°C y cuyo sistema de refrigeración se efectúa por medio de nitrógeno u otros gases líquidos. La prueba de torsión de Gehman determina el cambio del módulo de torsión con la temperatura y puede ser usado para obtener la temperatura de transición cristalina la que es de fundamental importancia, ya que muchas propiedades de los hules dependen de la lejanía de la temperatura de una prueba a la temperatura de transición cristalina en la que el volumen libre en la estructura del hule permite el deslizamiento a la rotación de las cadenas de polímero entre sí.

La temperatura a la que normalmente se efectúan las pruebas físicas es de 25°C , con una humedad relativa de 50 % a excepción de que otras condiciones sean requeridas.

El acondicionamiento de los materiales previo a las pruebas así como las pruebas de añejamiento acelerado, se llevan a cabo en hornos o en refrigeradores automáticamente controlados y especialmente diseñados.

Se pueden solicitar pruebas físicas para propiedades tales como dureza, suavidad, resistencia a la — ruptura, abrasión, doblamiento, resistencia al ozono, a los rayos ultravioletas, a la brisa salina, al agua, pruebas de compresión y recuperación, permeabilidad de los gases, volatibilidad, rebote, elasticidad, módulo dinámico y resistencia y propiedades a bajas temperaturas; cada una de estas pruebas emplea aparatos específicamente diseñados para la medición de las propiedades requeridas.

No obstante el problema fundamental existente, es el descubrir las complicadas relaciones entre las diversas propiedades físicas y la estructura química de los polímeros. Este problema involucra tantos factores y variables que se ha tenido que atacar con los sistemas de investigación y computación más avanzada (ref. 10,11).

En la tabla 1 se muestran las propiedades típicas de algunos de los principales hules compuestos existentes en el mercado.

E) TIPOS DE HULE.

La clasificación de los hules según las normas ASTM se da en la tabla 2.

A continuación se señala brevemente la composición, propiedades y usos de los principales tipos de hule:

T A B L A I.
COMPARACION CUALITATIVA DE LOS ELASTOMEROS.

PROPIEDAD	HULE NATURAL	SBR	IR	BR	NR ^{NO}	EPDM	CR	NBR	AU, EU	POLISULFuros	SI	ABR	FDM ^{NO}
PROPIEDADES FISICAS													
* RESISTENCIA ELECTRICA	B	B	B	B	B	B	C	X	C	C	A	C	B
* RESISTENCIA A LA FLAMA	X	X	X	X	X	X	B	X	C	X	C	X	B
PERMEABILIDAD A LOS GASES	C	C	C	C	A	C	B	A	B	A	C	C	
* RESISTENCIA AL CALOR	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B	A	B	A
RESISTENCIA AL FRIO	B	B	B	B	C	B	C	C	B	C	A	X	C
PROPIEDADES MECANICAS													
ESFUERZO A LA TENSION													
GOMA PURA	>3	<1	>3	<1	>1.5	<1	>3	<1	>4	<1	<1	>1	>2
REFORZADA	>3	>2	>3	>2	>2	>3	>3	>3	>4	>1	<1	>2	>2
* DUREZA SHORE A	30	10	30	40	40	30	40	40	55	40	40	40	60
	90	90	90	90	80	85	95	95	100	85	85	90	90
* RANGO DE COMPRESION	A	A	A	A	B	B	A	A	B	X	A	B	A
REBOTE EN FRIO	A	B	A	A	X	B	B	B	X	C	A	X	B
REBOTE EN CALIENTE	A	B	A	A	A	B	B	B	B	C	A		A
* RESISTENCIA A LA RUPTURA	A	C	A	C	A	B	C	C	A	X	X	C	C
* RESISTENCIA A LA ABRA- SION	A	A	A	A	B	A	B	A	A	X	X	C	B
ESTABILIDAD QUIMICA													
* ANEJAMIENTO A LA LUZ SOLAR	C	C	C	C	A	A	A	C	A	A	A	A	A
* RESISTENCIA A LA OXIDACION	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A
* RESISTENCIA AL OZONO	X	X	X	X	B	A	B	X	A	A	A	A	A
* HIDROCARBUROS ALIFATICOS	X	X	X	X	X	X	B	A	A	A	X	B	A
* HIDROCARBUROS AROMATICOS	X	X	X	X	X	X	C	B	B	A	X	X	A
* SOLVENTES CLORINADOS	X	X	X	X	X	X	X	C	C	B	X	X	B
* SOLVENTES OXIGENADOS	B	B	B	B	B	B	C	C	X	A	C	X	X
PETROLEO CRUDO	X	X	X	X	X	X	B	A	B	A	X	B	A
GAS NATURAL	X	X	X	X	X	X	B	A	C	A	X	B	A
GASOLINA, ACEITE COMBUSTI- BLE	X	X	X	X	X	X	B	A	A	A	C	A	A
ACEITES LUBRICANTES	C	C	C	C	X	X	B	A	A	A	C	A	A
ACEITES ANIMALES Y VEGETALES	C	C	C	C	A	A	B	A	A	A	A	A	A
* ACIDOS DILUIDOS	B	B	B	B	A	B	A	B	C	B	A	X	A
* ACIDOS CONCENTRADOS	C	C	C	C	B	B	B	C	X	C	B	X	B
HIDROXIDO DE SODIO	B	C	B	C	A	B	B	B	C	C	A	X	B
* RESISTENCIA AL HINCHA- MIENTO POR AGUA	B	A	B	A	A	B	B	A	C	A	A	C	A
* GRAVEDAD ESPECIFICA	.92	.93	.92	.94	.91	.86	.1.23	1.	1.05	1.27-1.34	.95	1.10	1.4-1.95
RANGO DE PRECIO	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	D	C	X

A= EXCELENTE B=BUENO C= REGULAR X=POBRE

(ref.11).

TABLA 2.

CLASIFICACION DE LOS HULES SEGUN LAS NORMAS ASTM.

Clase I. Elastómeros	Clase II. Plásticos duros.
A. Vulcanizables	Clase III. Resinas reforzantes.
1. Hules tipo dieno	Clase IV. Vehículos para <u>pin</u> tura.
2. Hules tipo no dieno	
B. No vulcanizables y otros elastómeros.	

Adicionalmente los hules son clasificados y codificados - a partir de la composición química de la cadena de polímero, de la siguiente manera:

M - elastómeros que tienen una cadena saturada del tipo - polimetileno.

N - elastómeros que contienen nitrógeno en la cadena polimérica.

O - elastómeros que contienen oxígeno en la cadena polimérica.

- P - elastómeros que contienen fósforo en la cadena polimérica.
- R - Hules o elastómeros que tienen una cadena de carbono-saturada; V. Gr. hule natural y hules sintéticos - derivados cuando menos parcialmente de diolefinas.
- T - elastómeros que contienen azufre en la cadena polimérica.
- U - elastómeros que contienen carbono, oxígeno y nitrógeno en la cadena polimérica.

La familia R, tanto en forma seca como de látex, es adicionalmente definida por inserción del nombre del monómero o monómeros de los que fué preparado el polímero, antes de la palabra "hule"*, a excepción del hule natural.

- | | |
|---|-------------------------------------|
| BR - hules de butadieno | NCR - hules de nitrilo-cloropreno. |
| IR - hules de isopreno, <u>sin</u> sintéticos | PBR - hules de piridina-butadieno |
| CR - hules de cloropreno | SBR - hules de estireno-butadieno |
| NR - hule de isopreno, <u>na</u> tural. | SCR - hules de estireno-cloropreno. |

ABR - hules de acrilato-butadieno

SIR - hules de estireno --
isopreno

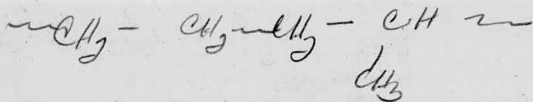
IIR - hules de isobutileno -
isopreno

EPIR- hule terpolimero de-
~~etileno~~ -propileno

NBR - hules de nitrilo-butadieno.

l

* En esta tabla la regla original se aplicó solo a la forma abreviada. (ref. 22).



Hule Natural (NR).

Es el cis-1,4-poliisopreno natural y contiene un promedio de 5000 unidades de isopreno en su cadena polimérica. El hule natural se puede obtener de cientos de plantas de diversos géneros, siendo la fuente más importante el árbol del hule (Hevea Brasiliensis), (ref. 11).

Su uso principal es en la manufactura de llantas de camión, (Vease Descripción del producto, Capítulo II).

Hules de butadieno-estireno (SBR).

Originalmente designado hule GR-S, ahora se denomina SBR. Se obtiene por la polimerización en emulsión de butadieno y estireno en relaciones variables, siendo la más usual 78:22.

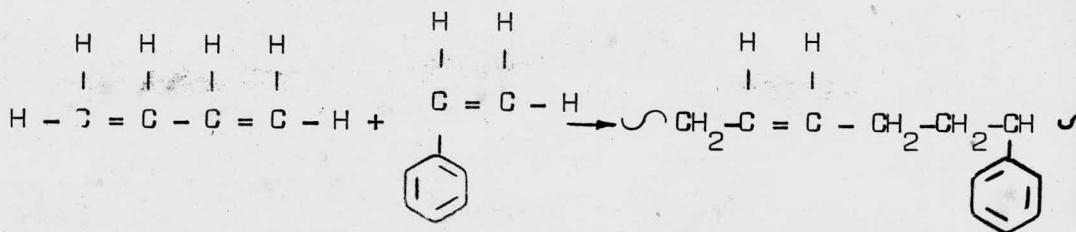
Es el hule sintético más importante y más usado en el mundo entero. Se puede procesar en forma sólida o como látex.

Se fabrican dos tipos según su temperatura de polimerización, a saber:

- a) Hule SBR polimerizado en caliente a temperaturas de 50°C. o mayores.
- b) Hule SBR polimerizado en frío a temperaturas de 5°C. o menos, obteniéndose compuestos de mayor peso molecular.

Se puede óleo-extender hasta con cantidades superiores al 50 % de aceite pesado.

Su síntesis se puede esquematizar en la siguiente reacción:



Butadieno

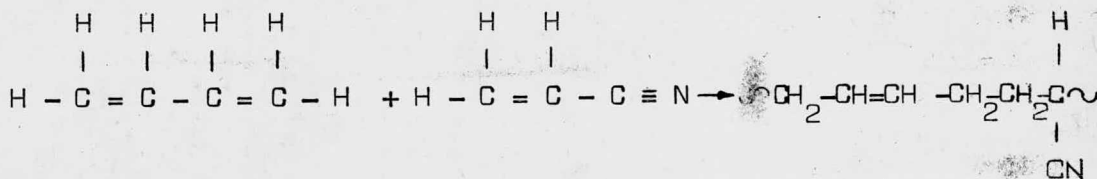
Estireno

Unidad SBR.

El uso principal del hule SBR es en llantas y productos relacionados; otros usos incluyen la fabricación de bandas, mangueras, recubrimientos para alambres y cables, pisos, productos para calzado, esponjas, aislamientos y productos moldeados (ref. 9,11).

Hule nitrilo (NBR).

Estos hules son copolímeros de acrilonitrilo y un dieno, generalmente butadieno, en una relación de mo números butadieno acrilonitrilo que varía de 55/45 a 80/20. La reacción es la siguiente:



Butadieno

Acrilonitrilo

Unidad de hule nitrilo.

Como ya se mencionó, éste fué uno de los primeros hules producidos comercialmente, bajo la denominación de Buna N.

Es vulcanizable con agentes sulfurosos o no sulfurosos. Sus nombres comerciales son : Buna N, Chemigum-N, Hycar OR, Perbunan y Butaprene N.

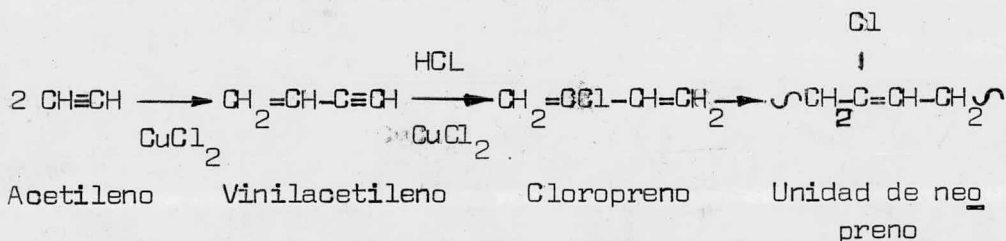
En base a su extraordinaria resistencia a los aceites, grasas y solventes, así como al impacto, se aprovechan estas características para sus aplicaciones en productos especiales y en forma de látex para adhesivos, acabado de la piel, impregnación del papel y en la manufactura de tejidos que no contengan lana (ref. 11).

Neopreno.

Es un polímero del cloropreno, 2-clorobutadieno-1,3, en forma de homopolímero y también como copolímeros, en los que el monómero de cloropreno predomina. Su estructura se estima en forma trans-1,4 en un 85 % - aproximadamente del producto y su peso molecular fluctúa entre 100,000 y 180,000. Como en todos los elastómeros, se pueden obtener variedades con diversas propiedades dependiendo de las condiciones de polimerización.

El cloropreno monómero se produce por dimerización del acetileno formándose vinilacetileno, el cual a su vez se hace reaccionar con ácido clorhídrico. Una vez obtenido el monómero, se procede a la polimerización en emulsión, seguida por la coagulación del polímero a base de congelación y la separación del producto.

Las reacciones involucradas son:



Algunos de los neoprenos se vulcanizan con azufre, sin embargo la mayoría de ellos lo hacen con la adición de óxidos básicos como el óxido de magnesio y el óxido de zinc.

Una de las características principales de el neopreno es su resistencia a la tensión aun sin la adición de negro de humo, el cual puede ser adicionado, así como otros materiales, cuando se requiere un mayor esfuerzo para obtener productos de aplicaciones específicas en-

las que es necesaria una mayor resistencia a la abrasión y a la ruptura. Otras ventajas de los neoprenos son su resistencia al ozono, al medio ambiente, a diversos productos químicos, al aceite y a la flama, teniendo como desventajas un alto costo y altos puntos de congelación lo cual reduce sus temperaturas de servicio y su aplicación a materiales costosos únicamente. Gracias a los esfuerzos de investigación, se ha logrado la comercialización del Neopreno GP que es mucho más resistente a la cristalización que los productos normales, siendo factible usarlo a más bajas temperaturas.

Usos típicos de los neoprenos son aplicaciones resistentes a los aceites, mangueras, aislantes para bajos voltajes, adhesivos, materiales moldeados, revestimiento de recipientes y otras aplicaciones de uso severo (ref. 11).

Cis-1,4-Poliisopreno (IR).

Como se definió, es el sustituto sintético del hule natural y es elaborado a partir de isopreno en solución por polimerización que puede efectuarse con dos diferentes tipos de catalizadores. La presencia de un alto contenido de la forma cis es fundamental para lograr obtener propiedades similares a las del producto natural.

Cuando se completa la polimerización, el catalizador se destruye y el polímero se separa, pudiendo ser manejado y compuesto como cualquier otro hule.

Tanto el cis-1,4-polibutadieno como este polímero, corresponden a la categoría de los estéreos-hules, ya que se preparan con catalizadores estéreo-específicos.

La estructura y propiedades del producto dependen del tipo de catalizador usado, sin embargo al ser compuestos y vulcanizados desarrollan propiedades físicas equivalentes a las del producto natural.

Como se indicó en la sección anterior, se usa principalmente para la manufactura de llantas para servicio de todo tipo de transportes (ver Definiciones, sección C, Capítulo I y Descripción del producto, Capítulo II), (ref. 11).

Cis-1,4-Polibutadieno (BR).

El éxito en el desarrollo de la síntesis del cis-1,4-Poliisopreno y el hecho de que el precio del butadieno es notablemente inferior al de isopreno, llamó la atención de los investigadores para lograr la polimerización estéreoregulada del butadieno y particularmente del

ción de calor durante el servicio, alta resistencia, mejores propiedades a bajas temperaturas y un módulo, resistencia a la tensión y dureza satisfactorias, además de una resistencia a la descomposición térmica superior a la del hule natural. Como resultado de estas propiedades se ha encontrado que en llantas para automóvil el desgaste en el piso de la llanta se reduce proporcionalmente al aumento en el contenido de cis-1,4-polibutadieno con hule natural. En llantas de camión, una mezcla de cis-1,4-polibutadieno con hule natural, dió un 14 % más de uso que una de hule natural. Sin embargo el factor limitante de la utilización del cis-1,4-polibutadieno en las llantas en su tendencia a derrapar.

El desarrollo existente en la producción de cis-1,4-polibutadieno ha sido prácticamente extraordinario y presenta perspectivas altamente promisorias, siendo después del hule SBR, el tipo de hule más ampliamente usado (ref. 11,22).

Polímeros etileno-propileno.

La producción de este tipo de compuestos se encuentra en estado de desarrollo. Se han obtenido por copolimerización de los monómeros de etileno y propileno en presencia de un catalizador estéreo-específico, sólidos amorfos semejantes al hule. Estos copolímeros carecen de dobles ligaduras por lo que exhiben propiedades - - -

muy particulares como su extraordinaria resistencia al calor, al oxígeno, al ozono y a otros agentes que producen añejamiento y degradación. Adicionalmente a esto, al ser probados en pisos de llantas han demostrado una resistencia a la abrasión excelente. Debido a su saturación total estos compuestos únicamente son vulcanizados por sustancias de composición especial como son los peróxidos orgánicos. Para eliminar la ausencia de saturación se han producido terpolímeros que contienen, etileno, propileno y un tercer monómero insaturado, tal como el dicitlopentadieno, lo que ha logrado la formación de compuestos vulcanizables con azufre o por los métodos más o menos convencionales.

Aunque estos terpolímeros han logrado mayor aceptación, su falta de adhesividad y su incompatibilidad con el SBR, el hule natural y el polibutadieno ha hecho que se haya detenido su incorporación a la industria huleira (ref. 11,22).

Hule butilo.

Es básicamente un poliisobutileno al que se ha adicionado una diolefina, generalmente isopreno, en una proporción de 0.5 a 4.5 %, con el objeto de obtener la insaturación necesaria para efectuar la vulcanización. Se elabora a partir de isobutileno e isopreno por copoli-

merización en solución a -101°C en presencia de un catalizador catiónico formado por cloruro de metilo, cloruro de aluminio y trazas de agua. La velocidad de esta reacción es sumamente alta, llegando a ser casi explosiva, — por lo que es necesario mantener la temperatura indicada, lo que ayuda al control del peso molecular.

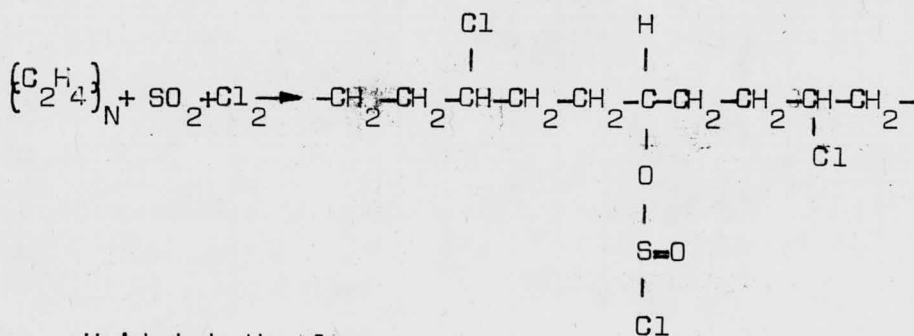
Dada la baja saturación del compuesto, la vulcanización requiere un tiempo y temperatura más altos, obteniéndose sin embargo excelentes características en propiedades tales como resistencia al oxígeno, ozono, intemperie, buenas propiedades eléctricas y buen módulo de — elasticidad que puede mejorarse con la adición de negro — de humo u otras sustancias.

Sin embargo la propiedad más importante del hule butilo es su alta impermeabilidad a los gases, en la cual se basa su principal aplicación que es la manufactura de cámaras y llantas sin cámara para automóvil. Otras aplicaciones del hule butilo son en la elaboración de productos de cable y alambre, mangueras, juntas, selladores y otros. De particular mención son el hule butilo vulcanizado con resinas fenólicas modificadas, con lo que se — obtienen compuestos con una vida útil superior en condiciones de exposición al calor por períodos prolongados, — así como los hules clorobutilo (con 1 % de cloro aproximadamente) y bromobutilo (con 1 a 3.5% de bromo aproximadamente), los cuales se mezclan y vulcanizan más fácilmen

te que el hule butilo y que poseen una compatibilidad y - adhesividad mejor con los hules natural y sintético, que las exhibidas por el hule butilo (ref. 11).

Hypalon.

Hypalon es el nombre comercial dado por Du Pont a una familia de polietilenos clorosulfonados preparados al tratar polietileno con una mezcla de dióxido de azufre y cloro, introduciendo en la cadena de polietileno grupos cloro y cloruro de sulfonilo, según la siguiente reacción:



Unidad de Hypalon.

Existen tres tipos comerciales de hypalon variando su contenido de cloro de 26 a 40 % y el de azufre

de 1.0 a 1.5 %. Debido a la saturación total de su cadena y a los grupos que posee, el hypalon se vulcaniza por medio de óxidos metálicos tales como el litargirio, el óxido de magnesio o el minio en presencia de aceleradores y de un ácido orgánico que puede ser brea hidrogenada o ácido esteárico, con lo que se obtiene una vulcanización óptima.

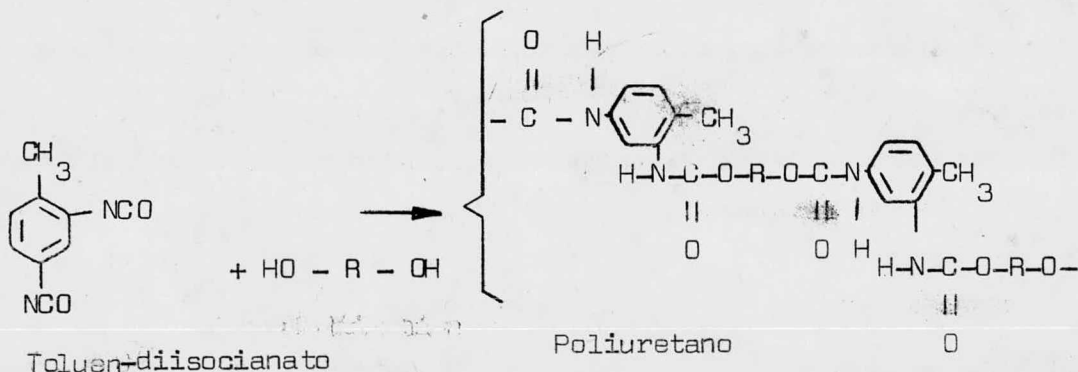
El hypalon se puede mezclar con otros tipos de hule para obtener una gran variedad de propiedades. Como características sobresalientes del hypalon se pueden mencionar sus óptimas propiedades de resistencia sin la necesidad de aditivos, resistencia extrema al ozono, resistencia química a los compuestos fuertes tales como el ácido nítrico, el peróxido de hidrógeno y agentes blanqueadores fuertes, propiedad en la que supera a los otros tipos de hule. Adicionales a las propiedades mencionadas, son de tomarse en cuenta su máxima resistencia al calor, propiedades mecánicas, colorabilidad ilimitada y mezclado con antioxidantes.

Entre sus aplicaciones típicas se pueden mencionar las cubiertas para bandas transportadoras, mangueras para vapor, O-rings y empaques en los generadores de ozono, artículos moldeados y tejidos recubiertos para servicio a la intemperie. (ref. 11).

Hules de poliuretano.

Son llamados poliuretanos los productos de — reacción de los poliglicoles con ciertos diisocianatos or gánicos. Los poliuretanos también se pueden obtener a — partir de los bis-cloroformatos de los dioles poliméricos haciéndolos reaccionar con diaminas. El peso molecular — de los dioles usados está generalmente comprendido entre 1000 y 5000. El nombre poliuretanos es en realidad gé nérico y comprende productos que se pueden catalogar como — plásticos, hasta hules de características típicas, por — lo que se tienen compuestos con una gran variedad de propiedades.

Para la producción de hules de poliuretano, — los poliésteres más usados son los adipatos de C_2, C_3 ó C_4 — glicoles y en la rama de los poliésteres sobresale el poli — butilén-éter-glicol. La característica fundamental para que un compuesto se clasifique como poliuretano es que su cadena esté formada con uniones del tipo uretano. Una — reacción típica para la formación de un poliuretano carac terístico, se esquematiza en la forma siguiente:



Las posibilidades estructurales frecuentemente localizadas en los hules de poliuretano son los tipos-uretanos, éster, éter, amida y grupos alifático y aromático en proporciones variables, lo que causa que haya múltiples alternativas de uniones cruzadas que dependerán de las operaciones específicas que se empleen durante la obtención de dichos compuestos y definirán sus propiedades.

No obstante la variedad de hules de poliuretanos existentes, tanto en el campo de los poliésteruretanos como en el de los poliéteruretanos, existe abundante información respecto a sus características físicas.

Los poliuretanos tienen excelente resistencia física, resiliencia y resistencia a la abrasión, a la luz ultravioleta, al oxígeno, al ozono, a los solventes y a la ruptura por flexión. Desarrollan un comportamiento satisfactorio más no superior a temperaturas extremas. Son susceptibles a degradación hidrolítica y a descomposición de los segmentos poliéter de las cadenas.

Los hules de poliuretano se están evaluando extensamente en llantas para automóviles y camiones, entacones y suelas de calzado, en bandas transportadoras, en películas, en llantas sólidas, en el reemplazo de meta

les en partes móviles, como espumas y en diversos productos (ref. 11).

Hules de polisulfuros.

Son los thiokoles, elastómeros de condensación obtenidos mediante la reacción de polisulfuros alcalinos y dihaluros orgánicos tales como cloruro de metileno, dicloruro de propileno, glicerol diclorhidrina, éter-dicloroetilico y dicloruro de triglicol que son los más comúnmente usados. En este tipo de polímeros las cadenas de los grupos alifáticos y la longitud de las cadenas de unión formadas comúnmente por dos a cuatro átomos de azufre, son los que definen las propiedades características de los productos resultantes, obteniéndose sólidos de estructura lineal, alto peso molecular, de viscosidades variables y que cristalizan al alargarse. Su síntesis puede ser esquematizada en la reacción siguiente:



Dicloruro de etileno, Tetrasulfuro de sodio. Unidad de thiocol — tipo A.

Por su estructura química estos compuestos no se vulcanizan con azufre, sin embargo su presencia acelera la reacción, la cual se lleva a cabo con óxidos metálicos tales como los óxidos de plomo, zinc o magnesio.

Las principales propiedades de estos polímeros son su alta resistencia a los solventes y aceites, — aunadas a una excelente resistencia al añejamiento, al ozono y a la luz del día, así como una baja permeabilidad a los gases y vapores. Estos hules se refuerzan generalmente con formulaciones que incluyen negro de humo, mejorándose su resistencia a la tensión, a la abrasión y su dureza. A los productos de color diferente al negro se les agregan materiales aditivos, tales como óxidos de zinc, sulfuro de zinc, dióxido de titanio, litopón, los cuales mejoran las propiedades del material obtenido.

Mediante una descomposición controlada de thiokoles de alto peso molecular se pueden obtener polímeros líquidos que están encontrando aplicación como productos para impregnación del cuero, modificadores a las resinas epoxi, selladores, moldes flexibles y otros productos.

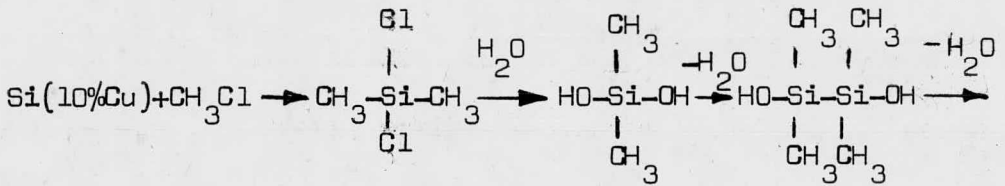
Aplicaciones típicas de los thiokoles son la manufactura de mangueras para gases usados en la industria automotriz y en las estaciones de servicio, recubri-

mientos para cables, mantas para impresores, aglutinantes para combustibles para cohetes, recubrimientos contra el desgaste por exposición a la intemperie y para los tejidos para globos aerostáticos. Sus usos están limitados por su baja resistencia a la tensión y la abrasión comparadas con las de otros tipos de hules, así como por el olor desagradable de algunos de ellos (ref. 11).

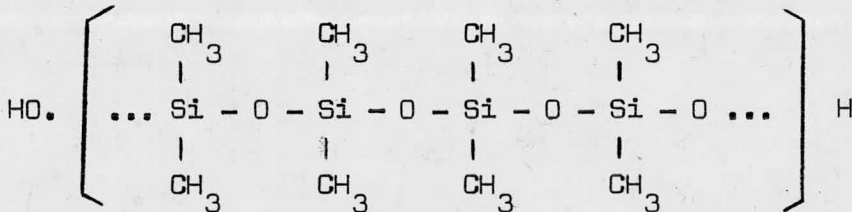
Hules de Silicón.

En los hules de silicón las cadenas están formadas por átomos alternados de silicio y oxígeno, sin inclusión de carbonos. Estos compuestos son parcialmente orgánicos y parcialmente inorgánicos, ya que sus cadenas están ramificadas con radicales orgánicos alifáticos. La mayoría de ellos se derivan del dimetil-clorosilano aunque algunas variedades se producen por substitución parcial de los radicales metilo por otros radicales orgánicos tales como el fenilo, el vinilo o el alilo. Los metilclorosilanos se obtienen por la acción del cloruro de metilo sobre polvo de silicio con catalizadores a base de cobre a una temperatura de 135-190°C. La conversión de los metilclorosilanos en polisiloxanos se lleva a cabo por la adición de agua seguida de hidrólisis en presencia de pequeñas cantidades de cloruro férrico, ácido sulfúrico o hidróxido sódico. Los polímeros de bajo peso molecular se eliminan por destilación. Las reacciones efectua-

das son del tipo siguiente:



Silicio	Cloruro de	Dimetilclorosi	Dimetilsil	Dimetilsil-
	metilo	lano	nalol	loxano



Dimetilpolisiloxano.

Hay más de 30 tipos de polisiloxanos disponibles en el mercado con texturas que varían desde líquidos hasta sólidos duros.

Los polisiloxanos que contienen únicamente — radicales orgánicos saturados no se vulcanizan con el azufre, empleándose en su lugar agentes fuertemente oxidantes tales como el peróxido de benzoilo. Sin embargo en — los casos de polisiloxanos que contienen grupos no saturados la vulcanización con azufre es posible y los radicales no saturados controlan el grado de uniones cruzadas — que se obtengan.

Los silicones normales no se refuerzan con negro de humo, sin embargo sus propiedades físicas mejoran— con la adición de materiales como los óxidos de titanio,— hierro, zinc y la sílice, que actúan como agentes modificadores y reforzantes.

Los hules de silicón en general tienen propiedades físicas pobres y son difíciles de procesar. Sin embargo son los hules más estables térmicamente y permanecen flexibles en un rango de temperatura comprendido entre -100 y 315°C. Estos materiales son inafectables al— ozono, resistentes a los aceites calientes, tienen excelentes propiedades eléctricas y buena resistencia el ataque— de los productos químicos.

Sus aplicaciones más extensas comprenden aislamientos para cables y alambres, tuberías, empaques y junta

tas, fluidos para transferencias hidráulica y calorífica, lubricantes y grasas, selladores para aplicaciones eléctricas, resinas para laminación y para barnices resistentes a altas temperaturas, repelentes al agua, ceras y pulidores, etc. (ref. 9,11,22).

Otros hules.

Nuevos productos aparecen continuamente en el mercado. El hule natural ha sido modificado por adición de ácido clorhídrico, uniones cruzadas, adición de grupos tiol, ciclizaciones, injertos de grupos metacrilato en la cadena principal. Todos estos productos exhiben propiedades diferentes a las del hule natural.

El desarrollo continuo de la investigación en el campo de la tecnología del hule hace promisorio el avance de esta importante rama de la industria química. Dignos de mención son los siguientes compuestos cuya penetración en el mercado se incrementa día a día; Eteres polivinílicos, óxido de polipropileno, poliepiclorhidrinas, polímeros fluorinados, polímeros que contienen grupos nitrógeno substituidos, polímero de butilmetacrilato, elastómeros hechos a partir de copolímeros en bloque en presencia de catalizadores del tipo alquil-litio, los cuales permiten formar cadenas prácticamente infinitas de homopolí-

meros o copolímeros a partir de monómeros o bloques poliméricos, abriendo innumerables posibilidades dentro del campo mencionado.

Productos químicos usados en el procesamiento del hule.

La industria del hule requiere productos químicos para modificar los elastómeros crudos con el objeto de producir las cualidades deseadas y mejoradas de los productos de hule. La clasificación siguiente comprende tipos de productos químicos principales usados en la composición del hule (ref. 22):

Vulcanizadores o agentes de curado.

Aceleradores de la vulcanización.

Activadores de los aceleradores.

Retardantes.

Agentes resistentes al añejamiento o antioxidantes.

Pigmentos.

Ablandadores y extendedores.

Ceras.

Agentes esponjantes.

Plastificantes químicos.

Agentes peptizantes.

C A P I T U L O I I
DESCRIPCION DEL PRODUCTO

- A) ISOPRENO.
- B) HULE NATURAL.
- C) CIS-1,4- POLIISOPRENO.
- D) PROPIEDADES.
- E) ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO SINTETICO
COMPARADAS CON LAS DEL PRODUCTO NATURAL.
- F) USOS Y SUCEDANEOS.

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

A) ISOPRENO.

Es la más importante de las diolefinas. Como se indicó anteriormente su fórmula es 2-metil-1,3-butadieno. Es un líquido incoloro de olor penetrante, con un punto de ebullición de 34°C y menos denso que el agua. Es insoluble en agua, miscible con el benceno y compuestos similares. Se obtiene junto con otros productos por destilación seca del caucho bruto o haciendo pasar vapores de esencia de trementina a través de un tubo metálico calentado al rojo. Se puede sintetizar a escala de laboratorio por diversos métodos, produciéndose indistintamente por (Ver diferentes procesos de producción, sección K, capítulo III):

- a) Deshidrogenación de isopentano (Proceso Houdry).
- b) Deshidrogenación de isoamilenos (Proceso Shell).
- c) Dimerización del propileno y pirólisis posterior (Proceso Goodyear -S.D.).
- d) A partir de isobutileno y formol (Procesos IFP y Ruso).
- e) A partir de acetileno y acetona (Proceso Snam Progetti)

- f) A partir de la metiletilcetona y formaldehido, con reducción y deshidratación subsecuentes.
- g) A partir del aceite de fusel.

Los métodos más usados para la producción comercial son los primeros cinco, aunque se están estudiando variantes a las tecnologías mencionadas (ref. 4,12).

El isopreno se polimeriza cuando se le somete a calentamiento o por medio de catalizadores, produciendo según el proceso empleado, importantes elastómeros por homopolimerización o copolimerización (Ver Usos y Sucedáneos, sección F, capítulo II).

Adicionalmente a lo anterior, el isopreno es uno de los compuestos orgánicos más ampliamente difundido en la naturaleza ya que es la unidad estructural de la familia de los isoprenoides. Aunque no se ha encontrado libre en la naturaleza, el isopreno es incorporado en forma de una gran variedad de compuestos durante la síntesis biogenética de los terpenos, cuya importancia y variedad puede apreciarse en las tablas 3 y 4 (ref. 13).

TABLA 3.

CLASIFICACION DE LOS TERPENOS.

I Hemiterpenos. (C_5H_8) - Isopreno

II Terpenos. ($C_{10}H_{16}$)	}	Aciclicos.	}	Familia del men <u>u</u> ano.
		Monociclicos		Familia del men <u>u</u> teno.
				Familia del men <u>u</u> tadieno.
Biciclicos	}	Tipo sabinano.		
		Tipo pinano.		
		Tipo canfano.		

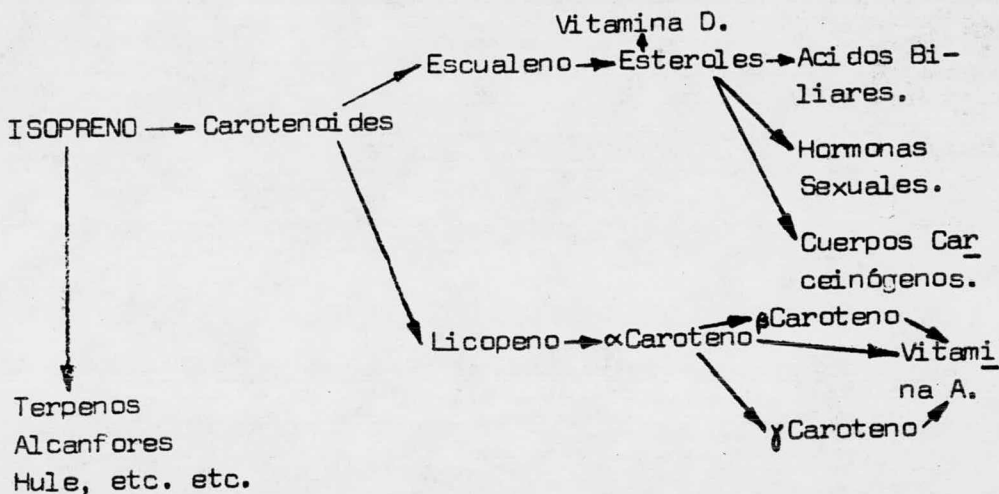
III. Sesquiterpenos. ($C_{15}H_{24}$)

IV. Diterpenos. ($C_{20}H_{32}$)

V. Politerpenos. ($C_{5n}H_{8n}$).

TABLA 4.

IMPORTANCIA BIOLÓGICA DEL ISOPRENO.

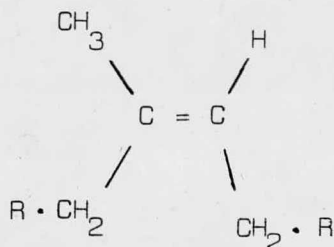


B) HULE NATURAL

El hule natural se llama vulgarmente goma elástica y existe en los jugos leñosos de multitud de árboles, pertenecientes especialmente a la familia de las euforbiáceas y al género *Ficus*, siendo el principal de ellos la *Hevea Brasiliensis*. El hule crudo obtenido a partir del látex (Ver diferentes procesos de producción, sección K, Capítulo III), se presenta en masas sólidas elásticas, que a 0°C pierden su elasticidad y a 30°C empiezan a ser viscosas. Examinado con rayos X, el hule presenta una estructura amorfa que puede cambiar a cristalina por congelación o distensión. Es insoluble en el agua y en el alcohol, pero muy soluble en el benceno, cloroformo, éter, petróleo,

sulfuro de carbono y esencia de trementina o aguarrás. Ver Propiedades, sección D, Capítulo II (ref. 9,10,12,13).

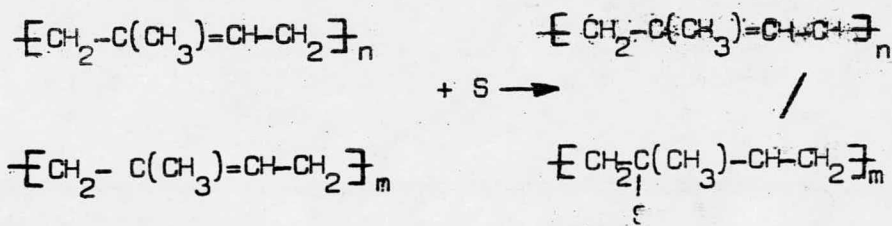
Se ha encontrado que el hule natural es una mezcla de hidrocarburos que contienen la composición unitaria empírica C_5H_8 . El hule es altamente insaturado y un estudio cuidadoso de su ozonólisis deja pocas dudas de que es un polímero lineal del isopreno en el cual las dobles ligaduras residuales están localizadas exclusivamente entre los carbonos C-2 y C-3 de las unidades de isopreno. Aunque se considera que el isopreno no es el compuesto por medio del cual se biosintetiza el hule, ya que se considera que se forma a partir del ácido acético, se pensó que es el producto de una polimerización por adición en las posiciones 1,4 del isopreno, lo cual ha sido confirmado por la fabricación del equivalente sintético del hule natural. El peso molecular medio del producto natural se ha estimado entre 60,000 y 350,000 lo que corresponde a un grado de polimerización (Número de unidades de monómero por molécula de polímero) de 1,000 a 5,000. La configuración espacial de las moléculas en el polímero tiene un efecto crítico sobre las propiedades del material, habiéndose encontrado que todas o casi todas las uniones olefinicas en el hule natural poseen una configuración cis, como se aprecia en la fórmula siguiente:



Cis - 1, 4-Poliisopreno.

El trans-isómero del hule natural es la gutapercha que tiene una textura dura en lugar de elástica. Sin embargo la hidrogenación de los dos materiales produce el mismo compuesto. El análisis por difracción de rayos X, ha confirmado que la gutapercha es casi totalmente un compuesto de configuración trans. El látex de hule natural está formado por una suspensión coloidal del hule en un suero acuoso. Su coagulación por la adición de ácido acético y sales, da el material llamado hule goma o hule crepé. Estos productos deben ser protegidos contra la oxidación y contra la fermentación, para lo cual se le agregan antioxidantes y conservadores.

El hule goma no tiene alta resistencia a la tensión y se hace quebradizo a bajas temperaturas, por lo que es necesario mejorar sus propiedades por medio de la vulcanización en la que se forman ligaduras de enlace cruzado entre las cadenas de polímero, según el siguiente esquema:



Vulcanización del hule natural.

El hule suave contiene el 1-2% de azufre, mientras que el hule duro o ebonita contiene hasta 35%.

El hule natural está compuesto por 95% aproximadamente de cis-1,4 poliisopreno, 2% de ácidos grasos y 2-3% de proteínas y pequeñas cantidades de azúcar y materias minerales (ref.3,4,6,7,9).

C) CIS-1,4-POLIISOPREÑO.

Es el hule sintético o sea el equivalente sintético del hule natural, que se produce a partir del isopreno por polimerización en solución con dos tipos diferentes de catalizadores, a saber:

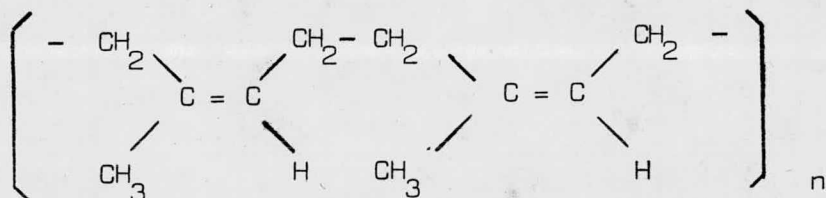
- a) Catalizadores de litio metálico y compuestos de alquil-litio.
- b) Sistema catalizador compuesto por una mezcla de cloruros de alquilo y tetracloruro de titanio (Catalizadores tipo Ziegler-Natta).

El producto es una masa blanca o amarillenta - que se estabiliza con 3% de politrimetil dihidroquinoleína. El cis-1,4-poliisopreno producido con catalizadores de litio metálico y compuestos alquil-litio, es un polímero de peso molecular mayor que el producido con catalizadores del tipo Ziegler-Natta, obteniéndose consecuentemente para estos últimos compuestos propiedades dinámicas y elásticas ligeramente más bajas.

Los poliisoprenos sintéticos difieren del hule natural en sus cantidades de componentes cristalinos y en sus velocidades de cristalización las cuales son mayores - en el caso del hule natural.

Las propiedades y estructura del hule sintético son casi idénticas que las del hule natural.

La representación de este polímero es la siguiente:



Adicionalmente a las diferencias en cristalinidad los cis 1,4-poliisoprenos difieren del producto natural en peso molecular promedio, distribución del peso molecular, contenido de gel, características del curado y - - otras propiedades.

En los cis-1,4-poliisoprenos, la composición -

isomérica obtenida depende de las condiciones de polimerización y fundamentalmente del catalizador empleado (ref.3, 4,6,7,21).

C) PROPIEDADES

ISOPRENO.

Propiedades físicas.

Es un líquido incoloro, volátil, de olor penetrante, soluble en benceno, alcohol, éter y los hidrocarburos más comunes e insolubles en agua.

Sus propiedades físicas principales son:

Peso molecular	68.12
Punto de ebullición a 760 mmHg.	34.07°C.
Punto de fusión a 760mmHg.	-145.95°C.
Indice de refracción a 20°C.	1.42194
Densidad a 20°C	0.68095 g/ml.
Densidad a 25°C	0.67587 g/ml.
Calor de formación a 25°C, gas.	-18.10 kcal/mol.
Calor de formación a 25°C, líquido.	-11.80 kcal/mol.

Energía libre de formación a 25°C. -34.87 kcal/mol.

Punto de inflamación. -48.0°C.

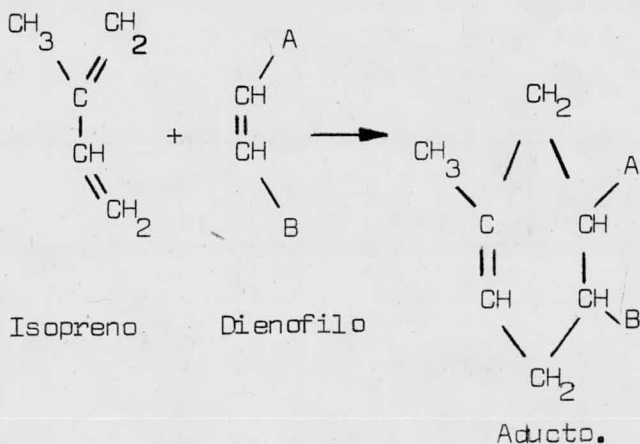
Temperatura de autoignición. 220.0°C.

Como peligros pueden señalarse: Muy inflamable, riesgo de incendio y explosión peligroso, moderadamente tóxico e irritante (ref.4,6,7).

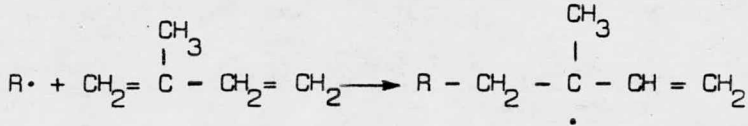
Propiedades químicas.

Como se ha dicho es el 2-metil-1,3-butadieno o el 3-metil-1,3 butadieno. A continuación se resumen sus propiedades químicas más importantes:

1) Condensación Diels-Alder.- Se han reportado muchos ejemplos:

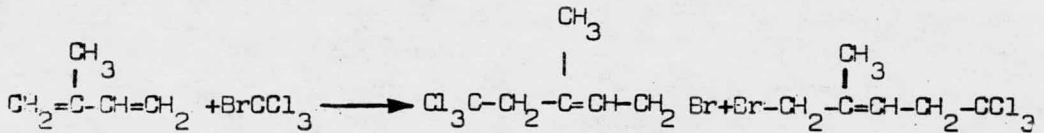


2) Reacciones con radicales libres.-



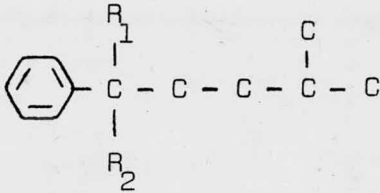
3) Reacciones con halógenos y compuestos halogenados.- Reacciones con Cl_2 , Br_2 , HCl seco, HBr , dihalocarbenos ($\text{X}_2\text{C=}$), α -Cloroalkiléteres, tetrahalometanos y otros compuestos halogenados.

La reacción típica con los tetrahalometanos es la siguiente:



1,4 Producto de Adición. 4,1 Producto de Adición.

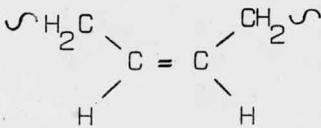
4) Reacciones con hidrocarburos.- Se han efectuado reacciones, con el tolueno, etil-benceno e isopropilbeneceno, catalizados con sodio o con potasio. La alquilación del ciclohexano con isopreno es posible bajo condiciones críticas, Los productos formados son del tipo:



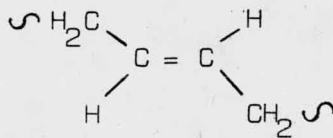
5) Reacciones con otros compuestos.- Se han reportado reacciones con aminas primarias y secundarias, con formaldehído, con acetona, con fenol, con nitroso benceno, con dióxido de nitrógeno, con diborano, con mono y ditioetilen-fósforo-cloriditas, con clorosilanos, con tiofeno y con reactivos de Grignard, entre las principales.

6) Polimerizaciones.- El isopreno se puede polimerizar -- bajo diversas condiciones en diferentes formas, a saber:

lo) Polimerización 1,4, dando dos tipos de estructura:

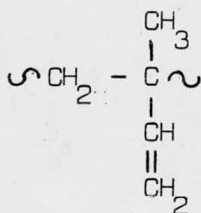


Cis - 1,4

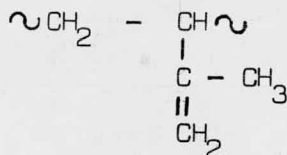


Trans-1,4

2o.) Polimerización 1,2 y 3,4:



1,2



3,4

Estas estructuras combinadas entre sí pueden producir moléculas muy complejas y su arreglo en las cadenas poliméricas puede determinarse al examinar su espectro de absorción infrarrojo.

La polimerización del isopreno se puede efectuar por varios métodos, dando cada uno diferentes tipos de estructuras, como se indica a continuación:

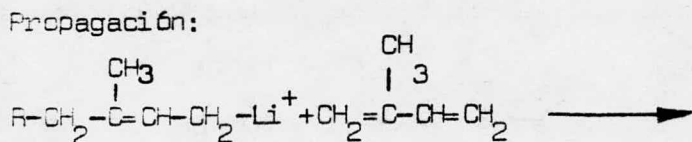
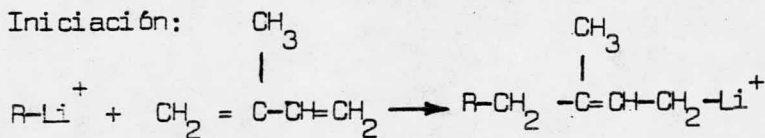
- 1o) Polimerizaciones iniciadas por metales alcalinos. - Se han estudiado las polimerizaciones y copolimerizaciones en solución usando hidrocarburos como solvente y dispersiones de metales alcalinos como catalizador. En la reacción catalizada con litio se obtiene un material con 94% de la estructura cis-1,4, mientras que los -

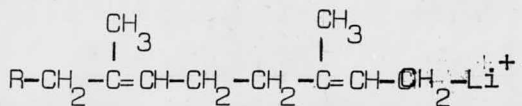
otros metales alcalinos dan polímeros que -
contienen en su mayor parte las estructuras
3,4 y trans-1,4.

La polaridad de los solventes también influy
ye. También se ha estudiado la copolimeriz-
ación usando metales alcalinos en varios -
solventes.

2o.) Polimerización iniciada por compuestos organ
no-alcalimetálicos.-

Elisopreno polimeriza en la presencia de num
erosos compuestos organometálicos solubles,
en condiciones anaerobias. Las polimerizaci
ones usando iniciadores de alquil-litio, -
se han estudiado extensamente. Usando hidrocarb
uros como solvente, la reacción se efect
úa en dos pasos:





Esta reacción tiene tres aspectos poco comunes:

- (1) La ausencia de una transferencia de cadena o paso de terminación. (2) La iniciación es tequiométrica de una cadena de poliisopreno por cada molécula de alquil-litio. (3) El producto es en su mayor parte (90%) cis-1,4 poliisopreno.

Por lo anterior esta reacción provee una ruta simple para la producción de un polímero lineal monodisperso de peso molecular predeterminado, una vez que las cadenas se terminan por la adición de alcoholes, agua o aire, aunque en el caso de no existir un factor de terminación las moléculas permanecen como un "polímero vivo" y pueden reiniciar la polimerización por la adición de un monómero cualquiera que sea. Por esta técnica se han preparado polímeros hasta de nueve bloques alternados de poliisopreno y poliestireno.

La cinética de la reacción de iniciación es influenciada fuertemente por el tipo de solvente y el radical alílico. En solución de hidrocarburo un nivel alto -

de iniciador produce contenido mayor de estructura trans y mayor temperatura aumenta la adición trans y la 3,4. La estructura de el poliisopreno no parece afectarse por la naturaleza del radical orgánico en el iniciador. La naturaleza del metal alcalino en el catalizador, sigue siendo, en este tipo de polimerizaciones, definitiva para la estructura del polímero. Otros metales que no sean litio, aumentan hasta 45% el contenido de estructuras 3,4 y trans-1,4, reduciendo hasta 10% el contenido de estructura cis-1,4.

3o) Polimerización iniciada por catalizadores-Alfin.- La polimerización de isopreno puede ser iniciada por el uso de catalizadores complejos tipos Alfin, que consisten de un alcoholato de sodio, de un compuesto no saturado organosódico como el alilsodio y una sal halogenada.- El nombre Alfin proviene de los constituyentes, un alcoholato y una olefina. Estas reacciones por lo regular son rápidas y producen polímeros de alto peso molecular, así como cantidades apreciables de estructuras 3,4 y trans-1,4.

4o) Polimerización iniciada por catalizadores de óxidos metálicos.-

Se han reportado polimerizaciones de isopreno en presencia de una mezcla de óxidos de aluminio y molibdeno o en presencia de óxido de cromo, dando en el primer caso productos de bajo peso molecular.

5o) Polimerizaciones iniciadas por catalizadores

tipo Ziegler-Natta. Los catalizadores Ziegler-Natta son compuestos formados por mezclas de alquil-aluminio (se han usado también alquil-zinc y alquil-litio), con compuestos de los metales de transición de los grupos IV a VI de la tabla periódica tales como vanadio y zirconio que se señalan como los mejores. Aparentemente el mecanismo es tal que la polimerización se promueve por el alquil-aluminio (catalizador) y los compuestos de metales de transición (cocatalizador) controlan la extensión de la reacción. Variando la composición del catalizador y del cocatalizador, así como su proporción relativa, el isopreno se puede polimerizar para obtener estructuras 3,4, cis-1,4 o trans-1,4, siendo las mismas variables las que controlan la conversión de la reacción. Como ejemplo se puede citar a una serie de trietilaluminio y tetracloruro de titanio en relación de cocatalizador a catalizador de 1:5, en la que se obtuvo 5% de rendimiento y 42% de estructura cis-1,4; para el mismo catalizador en relación 6:5 se obtuvo un rendimiento de 100% con una estructura cis-1,4 en 96% del producto y finalmente con relación 9:5 el rendimiento se desplomó a 10% sin afectar la estructura.

6o) Polimerización en sistemas de emulsión. -- Por la adición de jabones o emulsificantes se puede dispersar el isopreno en agua y las emulsiones producidas se pueden polimerizar por el uso de iniciadores de radical libre. La cinética de la reacción está controlada por la concentración del emulsificante. El polímero producido ha resultado con la siguiente composición: 6% estructura 1,2; 7% estructura 3,4; 22% estructura cis-1,4; 65% de estructura-

trans 1,4 (ref.4,10).

CIS-1,4 POLIISOPRENO.

Propiedades físicas.

Se ha determinado el peso molecular de los poliisoprenos producidos con diferentes catalizadores, con los siguientes resultados:

<u>Catalizador usado</u>	<u>Método para determinar el peso molecular.</u>	<u>Peso molecular</u>
Polimerización coordinada.	Osmometría.	216,000-337,000
Butil-litio.	Dispersión de luz.	77,000-216,000
Tipo Ziegler-Natta.	Ultracentrifugación.	1,200,000-1,900,000

Se ha medido la dispersión del peso molecular por diferentes métodos encontrándose que en los poliisoprenos es menor que en el hule natural.

Otra propiedad física importante que se ha definido para los poliisoprenos, es la temperatura de transición — cristalina, que es la temperatura a la cual un polímero cam—

bia de una naturaleza elástica a una condición quebradiza, similar al cristal. Las temperaturas de transición cristalina observadas son de -75°C para poliisoprenos que tienen 100% de estructura cis 1,4 y de -60°C para poliisoprenos con 100% de estructuras trans-1,4. Aunque el aspecto exterior de los cis-1,4-poliisoprenos, es de sólidos de apariencia similar al hule, su falta de cristalinidad y su baja temperatura de transición cristalina llevan a la conclusión de que es más correcto considerarlos como líquidos extremadamente viscosos a la temperatura ambiente. A estos compuestos se les han determinado viscosidades de más de 10^8 poises, sometidos a bajos esfuerzos cortantes a 100°C . La medición de las viscosidades para cis-1,4-poliisoprenos de peso molecular inferior a 100,000 y por tanto de baja viscosidad, se puede llevar a cabo en viscosímetros de cilindro rotatorio normales, mientras que para la viscosidad de los compuestos con peso molecular comprendido entre 2×10^5 y 2×10^{16} , la determinación se hace en el reómetro Mooney o en el reómetro Instron. Como la mayoría de los polímeros, el cis-1,4-poliisopreno muestra comportamiento viscoso no newtoniano por lo que su viscosidad varía proporcionalmente a la modificación y al valor del esfuerzo cortante aplicado al producto sólido o a sus soluciones concentradas, siendo también proporcional al peso molecular del material. De gran interés es la variación de la viscosidad del cis-1,4-poliisopreno con la temperatura, ya que los poliisoprenos sintéticos lineales con menos de 92% de estructura cis son menos sensibles a la temperatura que los correspondientes polímeros de contenido mayor (96.9%) de dicha estructura: éstos a su vez son menos sensibles a la temperatura que el hule natural que tiene un -

100% de estructura cis.

La densidad del cis-1,4-poliisopreno sintético sin vulcanizar es de 0.90 g/ml.

Es soluble en acetona, tetracloruro de carbono y la mayor parte de los disolventes orgánicos. Tiene una constante dieléctrica aproximada de 2.5, no es tóxico y puede ser procesado por calandrado y por extrusión.

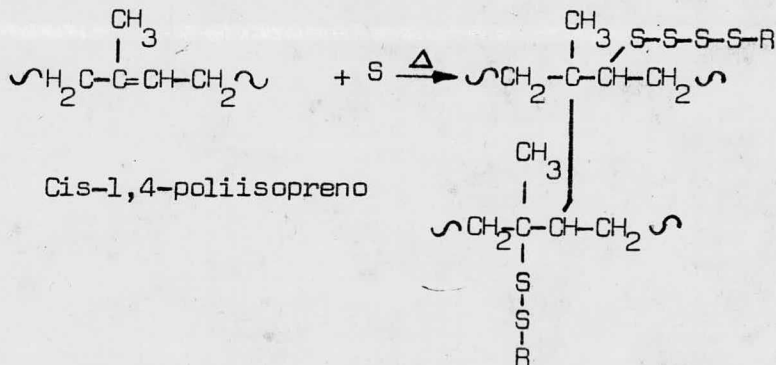
Otras propiedades del cis-1,4-poliisopreno, — como el coeficiente de expansión, así como sus características mecánicas, térmicas, ópticas y eléctricas, deben ser similares a las del hule natural, pero no se han reportado.

Las propiedades que se han discutido anteriormente, se refieren al cis-1,4-poliisopreno crudo, sin embargo es interesante indicar brevemente las propiedades del cis-1,4-poliisopreno vulcanizado. Este producto posee baja — histéresis, buena resistencia al calor, alta elasticidad y estabilidad de sus propiedades físicas a altas temperaturas. El calentamiento en pruebas de servicio es similar al del hule natural aunque tiene menor ruptura a la flexión y su desgaste es menor. La difracción de rayos X es similar a la del hule natural (ref. 4,5,10,21).

Propiedades químicas.

El cis-1,4-poliisopreno tiene propiedades químicas relacionadas con sus dobles ligaduras de naturaleza olefinica y sumamente reactivas. Sus principales propiedades químicas son:

1o) Vulcanización o curado.- Como ya se ha esbozado, consiste en la formación de puentes de polisulfuro entre las dobles ligaduras del cis-1,4-poliisopreno. Se logra con la adición de 1 a 35% o más de azufre, mediante calentamiento entre 120 y 150°C.



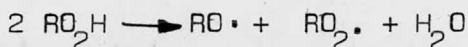
Cis-1,4-poliisopreno vulcanizado.

Durante la vulcanización además de azufre se agregan agentes reforzantes y diversos materiales de carga que modifican y mejoran las propiedades del producto, se-

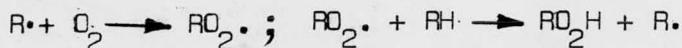
gún se indicó al discutir sus propiedades físicas.

2o) Oxidación.- Al ser expuesto a la acción del medio ambiente, el cis-1,4-poliisopreno reacciona con el oxígeno atmosférico, con el deterioro subsecuente de sus propiedades físicas. La reacción se representa por los pasos siguientes:

Iniciación:



Propagación:



Terminación:

Combinación de radicales \longrightarrow Productos inactivos.

La reacción de la cadena que contiene un radical libre se inicia por la descomposición de peróxidos que están presentes en el hule debido a la reacción del oxígeno con los radicales hidrocarbonados generados por el calor, luz o el desdoblamiento mecánico. La reacción se propaga por la extracción de un átomo de hidrógeno de la cadena polimérica, por el radical peróxido y la reacción del

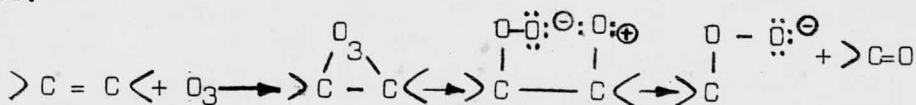
radical hidrocarbonado con el oxígeno atmosférico formando otro radical peróxido, etc.

La terminación ocurre por la combinación de radicales dando productos inactivos. El efecto de la oxidación en el cis-1,4-poliisopreno es la reducción en el tamaño de las cadenas con el abatimiento consecuente de su viscosidad.

La oxidación se acelera por el calor, la luz ultravioleta y la presencia de metales como hierro, manganeso, cobalto y cobre.

El efecto de la oxidación se evita mediante la adición de antioxidantes y estabilizadores entre los que el 2,6-diter-butil-4-metilfenol ha probado ser de los más efectivos.

3o) Ozonización.-El cis-1,4-poliisopreno es atacado por ozono atmosférico sobre la doble ligadura causando la ruptura de las cadenas. El mecanismo es el siguiente:



Como productos finales el cis-1,4-poliisopreno produce aldehídos y cetonas. La ozonización puede eliminarse con ceras o con antiozonantes químicos. La ozoniza-

ción está íntimamente relacionada con el agrietamiento del producto.

4o) Otras reacciones.- Las principales reacciones que se pueden efectuar sobre el *cis*-1,4-poliisopreno, son similares a las que se pueden realizar con el hule. Entre ellas se pueden mencionar la injercción de monómeros de tipo vinílico, la adición al azar de monómeros no saturados, fijación de aldehídos y de tioderivados, isomerización parcial, halogenación e hidrohlogenación, ciclización, reacción con cloral.

En general las ventajas del *cis*-1,4-poliisopreno no son múltiples, siendo las principales la preparación de productos con propiedades especiales, uniformidad de color y de tiempo de vulcanización, excelente fluidéz, pureza alta y uniforme, oleoextensible y en ocasiones costo (ref. 4,10).

E) ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO SINTETICO COMPARADAS CON LAS DEL PRODUCTO NATURAL.

Las especificaciones comerciales del isopreno-son (Ref.4):

	<u>Especificaciones de Venta</u>		<u>Valores</u>
	<u>Mín.</u>	<u>Máx.</u>	<u>Típicos</u>
Isopreno, % en peso.	99.5		99.7
Acetilenos, ppm.		50	Nada.

Continuación.

	<u>Especificaciones de Venta</u>		<u>Valores</u>
	Mín.	Máx.	<u>Típicos</u>
Ciclopentadieno ,ppm.		50	<10
Pentadienos, ppm.		150	Nada.
Inhibidores (p-ter-butil catecol), ppm.	200	300	250

Carga en carrotanque:

Vapor sobre el isopreno líquido en el carrotanque lleno; oxígeno, %Vol.

0.3 0.1

Vapor en el carrotanque de isopreno descargado, oxígeno, % Vol.

0.2 0.01

Las propiedades del hule natural y del cis-1,4-poliisopreno se pueden apreciar en el siguiente cuadro (ref. 7):

Cis-1,4-poliisopreno.

<u>Propiedad</u>	<u>Hule natural</u>	<u>Catalizador de litio.</u>	<u>Catalizador Complejo</u>
cis-1,4 %	97.8	94	92-99
trans-1,4 %	0	0	0-8
1,2%	0	0	0-3
3,4 %	2.2	6	1.3
Contenido de ácido graso %	2.25-2.75	0	0
Temperatura de transición - cristalina	-70°C.	-68.5°C	-70°C.
Solubilidad en benceno%	100	90.4	97-99
Insaturación %	96	98	94-98
Viscosidad Mooney	60-85	60-80	50-75
Densidad g/ml.	0.906-0.916	0.90	0.90

A continuación se dan las formulaciones típicas y las propiedades de hule natural y cis-1,4-poliisopreno — vulcanizados (ref.10).

	<u>Poliisopreno-sintético.</u>	<u>Hule natural.</u>
Contenido de cis-1,4%	96.5 ^a	92 ^b
		100

Componente	Formulación, partes		
Polímero	100.0	100.0	100.0
Oxido de zinc	6.0	3.0	5.0
Acido esteárico	4.0	3.0	2.0
Antioxidante	1.0	1.0	1.0
Azufre	3.0	1.5	2.75
Sal de zinc del 2-mercaptobenzotiazol	1.0		
N-ciclohexilbenzotiazol 2-sulfenamida		0.3	
Base Hepteen		0.1	
Ridacto		0.3	
Disulfuro de benzotiazilo			1.0
Disulfo de tetrametiltiltiuram.			0.1
TOTAL	115.0	109.2	111.85

Curado	60 min a 121.1°C	15 min a 145°C.	15 min a 141.70°C
	Propiedades		
Esfuerzo a la <u>ten</u> sión, psi	3,900	3,710	4,300
Elongación, %	735	910	730
Módulo a 300%, psi		160	300
a 500%, psi	750		
Dureza, Shore A.	42	35	41

a- Natsyn 200

b- Shell isoprene rubber 309

Adicional a los datos anteriores se ha encontrado que el espectro de absorción infrarroja del cis-1,4-poliisopreno sin vulcarizar es idéntico al del hule natural y su análisis elemental es coincidente, así como las propiedades de sus látices son practicamente idénticas.

Las diferencias principales entre el hule natural y el cis-1,4-poliisopreno son el contenido de estructura cis, la distribución del elemento trans, el peso mole-

cular promedio, la distribución molecular, la presencia de otros compuestos naturales, las cuales pueden ser ventajosas en uno u otro sentido según la aplicación específica del producto (ref. 4,10).

F) USOS Y SUCEDANEOS.

Usos del isopreno.

Básicamente todo el isopreno fabricado en el mundo se polimeriza a los productos siguientes:

- 1o) Cis-1,4-poliisopreno.- En este compuesto - se consume prácticamente el 98% del isopreno producido en el mundo.
- 2o) Trans-1,4-poliisopreno.- Se considera que el consumo de isopreno para la manufactura de este producto es prácticamente despreciable.
- 3o) Hule butilo.- Se estima que un 1% de la fabricación mundial de isopreno se consume en la manufactura de este producto.

En México se usa exclusivamente para la fabricaci

ción de hule butilo (ref.4,10).

Usos del cis-1,4-poliisopreno.

El cis-1,4-poliisopreno es el sucedáneo ideal del hule natural ya que se le pueden agregar aditivos con los que sus propiedades llegan a ser casi totalmente idénticas. Prácticamente, en la mayoría de sus aplicaciones - cualquiera de los dos tipos puede ser usado indistintamente. Sin embargo hay algunas aplicaciones especializadas - en las que se prefiere uno u otro de ellos por diferencias menores en alguna propiedad específica (histéresis, etc).

Los principales usos del cis-1,4-poliisopreno sin vulcanizar son: en la manufactura de cementos, adhesivos, cintas para aislamiento eléctrico y revestimiento - para cables.

Sin embargo las aplicaciones del producto vulcanizado son múltiples, siendo las principales la manufactura de neumáticos para vehículos, mangueras, correas - transportadoras, calzado, productos mecánicos especializados, caucho alveolar, aislamiento eléctrico, artículos deportivos, mecánicos y médicos, en forma de látex y otras - aplicaciones (ref. 4,7,10).

En México se empleó inicialmente el hule natural de origen nacional. Actualmente se usan en el país -

los hules sintéticos de producción doméstica en todos los casos en que la sustitución es posible y se consumen hules sintéticos y naturales de importación sólo cuando no existe la posibilidad técnica de sustitución por el productonacional.

En la manufactura de llantas, el hule natural es empleado en las paredes y bandas de rodamiento para disipar el calor y en la fabricación de llantas del tipo radial para automóviles. El empleo del hule natural en las llantas convencionales para automóvil es limitado.

Del mercado nacional del hule en todos sus tipos, se estima que el 30-35% no se emplea para llantas, — dándoles las aplicaciones siguientes:

Bandas de transmisión

Mangueras

Industrias del calzado

Zapatos, suelas y tacones

Pelotas

Sellos

Asientos.

En forma de látex se aplica en la manufactura de espumas de hule y de productos formados por inmersión - (guantes, globos, etc.) (ref.2,8,23).

C A P I T U L O I I I

ESTUDIO DE MERCADO

- A) PRODUCCION MUNDIAL DE HULE NATURAL.
- B) FABRICACION MUNDIAL DE ISOPRENO Y CIS-1,4-POLIISOPRENO.
- C) PRODUCCION NACIONAL.
- D) CONSUMO NACIONAL.
- E) IMPORTACIONES.
- F) EXPORTACIONES.
- G) DETERMINACION DE LAS AREAS DE CONSUMO.
- H) PROYECCION DE LA DEMANDA.
- I) DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE DISEÑO.
- J) ESTRATEGIA DEL MERCADO.
- K) DIFERENTES PROCESOS DE PRODUCCION.
 - a) DE HULE NATURAL.
 - b) DE ISOPRENO.
 - c) DE POLIISOPRENO.
- L) PLANTAS EXISTENTES EN EL MUNDO QUE UTILIZAN EL PROCESO SELECCIONADO.



ESTUDIO DE MERCADO

A) PRODUCCION MUNDIAL DE HULE NATURAL.

La producción mundial de hule natural entre los años 1960 y 1970, se puede apreciar en la Tabla 5 -- (ref. 24).

B) FABRICACION MUNDIAL DE ISOPRENO Y CIS-1,4-POLIISOPRENO.

Como se ha visto la aplicación dominante del isopreno es en la manufactura de cis-1,4-poliisopreno, -- por lo que los aumentos en su producción comercial están correlacionados, elaborándose estos productos en plantas vecinas o en complejos integrados.

En base a la correlación señalada es obvio -- que el estudio de mercado se debe enfocar hacia el consumo del cis-1,4-poliisopreno, punto de vista que se ha tomado en el presente trabajo.

Fabricación en los países occidentales.-

Alemania Occidental.- En 1968 Erdölchemie GmbH, inició la operación de una planta piloto para la produc--

ción de isopreno en la que se recupera este material de una fracción de C_5 resultante de la desintegración de nafta, empleado como solvente extractivo n-metil-2 pirrolidona.

Se anunció en 1971, el plan para la construcción de una planta con una capacidad de 80,000 toneladas de isopreno por año.

Francia.- La Compagnie du Polyisoprene Synthétique, S.A., empresa con participación mayoritaria de la Goodyer Tire & Rubber Company y de Michelin S.A., anunció en 1966 planes para la construcción de una planta para la fabricación de poliisopreno en le Havre. Según los planes originales el isopreno se elaboraría con tecnología del Instituto Francés del Petróleo y el cis-1,4-poliisopreno se obtendría con tecnología Goodyear. Este proyecto se pospuso.

Posteriormente, en 1970, se anunciaron planes para construir una planta para la elaboración de cis-1,4-poliisopreno a partir del isopreno producido por Erdölchemie GmbH, empresa en la que se encuentran asociados Bayer, A.G. y BP Benzin and Petroleum, A.G., con una capacidad de 45.000 toneladas anuales.

Holanda.- La producción de cis-1,4-poliisopreno la inició en el año de 1962 la Shell Nederland Chemie, - N.V., miembro del Royal Dutch/Shell Group. En el año de - - 1970 esta planta alcanzó una capacidad de 70,000 toneladas anuales y se han anunciado planes para aumentarla a 110,000 toneladas por año.

Italia.- La fabricación de cis-1,4-poliisopreno se inició en el año de 1972 por ANIC SpA, subsidiaria de - Ente Nazionale Idrocarburi, con una planta de 30,000 toneladas anuales de capacidad que consume isopreno producido por el proceso acetona acetileno de SNAM Progetti.

Reino Unido.- En 1964 la Dunlop Company LTD, -- inició la producción de cis-1,4-poliisopreno, suspendiéndola en años recientes.

Irán.- En cooperación con la URSS, se proyecta la construcción de una planta de 60,000 toneladas de cis-1,4 poliisopreno por año, cuya producción en su mayor parte se - exportaría a la URSS.

Japón.- La producción de cis-1,4-poliisopreno ha estado sujeta a investigación por diversas compañías durante muchos años. La causa del lento desarrollo de estos planes han sido las fluctuaciones substanciales en los precios del hule natural y la incertidumbre respecto a la -

TAELA 5

PRODUCCION MUNDIAL DE HULE NATURAL POR PAISES

(TONELADAS)

ANO	MALASIA	INDONESIA	CEILAN	TAILANDIA	VIETNAM CAMBOYA	SARAWAK	INDIA	SABA	BURMA	OTROS PAISES ASIATICOS.	LIBERIA	NIGERIA	CONGO	OTROS PAISES AFRICANOS	BRASIL	MEXICO	OTROS PAISES AMERICANOS	OCEANIA	TOTAL MUNDIAL
1950	683,169	685,531	111,713	110,433	47,736	54,724	15,354	23,524	10,335	5,020	30,610	13,189	7,972	2,559	19,094	787	6,496	2,264	1'830,708
1951	595,768	801,575	103,346	107,087	51,280	41,732	16,831	21,358	9,547	3,839	34,252	20,571	11,811	4,724	20,472	1,772	7,087	2,756	1'855,315
1952	575,000	738,681	94,980	96,358	62,106	31,299	19,587	18,799	13,681	2,953	34,744	18,012	16,240	3,346	26,083	984	7,874	2,264	1'761,911
1953	565,354	683,661	97,047	94,094	73,327	23,622	20,766	16,535	10,138	1,772	35,728	20,965	17,520	3,150	25,886	197	8,661	3,445	1'702,756
1954	577,264	732,677	92,421	114,862	76,772	23,031	21,161	16,831	12,008	1,181	35,531	20,427	21,850	3,642	21,555		5,906	3,445	1'781,496
1955	628,642	725,492	92,323	128,150	91,240	38,583	22,146	19,783	11,909	2,854	38,091	29,921	25,295	3,937	20,965		5,906	3,543	1'886,811
1956	616,142	675,886	93,898	131,496	99,114	40,059	23,031	19,587	12,205	5,413	39,173	37,500	31,496	3,543	23,327		5,906	3,839	1'862,697
1957	627,461	673,720	96,654	130,906	98,130	40,354	23,425	19,587	12,697	3,839	38,287	38,878	33,268	4,035	23,622		5,906	3,462	1'875,000
1958	652,461	674,409	98,622	135,236	101,969	38,287	23,917	19,882	11,024	3,740	41,732	40,453	33,957	5,217	19,980		5,906	4,429	1,909,449
1959	686,811	682,579	90,256	167,618	106,398	42,717	23,031	22,539	11,220	5,413	43,012	52,362	38,878	5,217	20,768		6,890	4,331	2'007,874
1960	697,244	600,886	95,768	164,567	110,138	48,917	24,409	21,654	8,563	8,563	46,850	57,579	34,449	5,807	22,343		6,890	4,035	1'953,740
1961	725,098	660,827	94,488	178,839	115,354	46,555	26,181	23,228	9,547	9,941	39,961	54,035	36,516	9,350	22,047		6,890	4,331	2'059,055
1962	739,764	660,236	100,787	187,795	113,091	42,716	30,413	22,047	10,728	9,055	43,996	58,169	36,319	8,858	20,965		6,890	4,528	2'096,457
1963	776,083	564,075	101,476	180,906	109,055	43,898	36,024	20,866	10,433	11,811	40,059	62,205	36,417	10,630	19,882		6,890	5,020	2'034,941
1964	812,303	628,445	108,071	209,843	116,535	43,996	24,815	22,441	5,906	15,256	41,240	69,980	33,169	12,402	27,461		6,890	4,921	2'199,803
1965	858,071	694,587	114,567	204,823	106,398	39,272	47,835	23,425	7,382	14,173	47,638	66,831	20,472	12,291	28,346		6,890	5,512	2,305,610
1966	913,189	693,307	126,870	195,768	97,047	35,433	51,575	23,327	6,398	15,157	51,280	68,799	26,870	24,311	23,622		6,890	5,512	2'359,744
1967	916,142	738,189	138,681	207,480	91,339	27,362	60,531	23,327	4,232	15,650	60,335	46,457	29,528	29,035	20,472		6,890	5,512	2'409,646
1968	1018,406	728,346	144,094	250,689	78,445	23,327	66,732	24,114	7,087	18,602	62,008	51,181	31,496	18,996	22,244		6,890	5,512	2'550,098
1969	1161,909	765,650	146,161	273,031	75,591	37,992	77,461	28,346	7,283	17,717	64,764	55,020	33,858	21,949	23,228		6,890	5,807	2'794,685
1970	1184,350	753,642	154,134	278,150	39,961	20,965	87,106	31,004	7,283	18,406	73,228	57,382	38,780	30,118	24,213		6,890	6,299	2'804,429

economía en la fabricación del cis-1,4-poliisopreno.

Estados Unidos.- Los productores del cis-1,4-poliisopreno son:

- 1.) B.F. Goodrich Chemical Co. que inició su producción en 1967. A la fecha la planta tiene una capacidad de 50,000 toneladas anuales, usando el proceso Shell de extracción y deshidrogenación de isoamileno.
- 2.) Goodyear Tire & Rubber Co. empezó la producción de Natsyn en 1962, existiendo en 1967 una capacidad de 60,000 toneladas anuales. El isopreno se produce por el proceso de dimerización del propileno de Goodyear Scientific Design..
- 3.) La Shell Chemical Co. inició la producción de su Shell Isoprene Rubber en 1959 a una capacidad de 36,000 toneladas anuales.
- 4.) Exxon Chemical Co. y la Monsanto Co. produ

cen únicamente isopreno monómero.

Puerto Rico.- Se han anunciado planes para producción de isopreno.

Venezuela.- En el complejo petroquímico del Tablazo, en Moron, el Instituto Venezolano de Petroquímica tiene proyectada la construcción de una planta para la elaboración de poliisopreno con una capacidad inicial de 30,000 toneladas anuales, la que se amplió a 95,000 toneladas anuales. El proceso que se empleará es el isobutileno-formaldehído. El cis-1,4-poliisopreno será producido por la empresa Cauchos Venezolanos. La participación en este proyecto está dividida entre el Instituto Venezolano del Petróleo, la iniciativa privada Venezolana y capitales franceses, alemanes e italianos.

Fabricación en los países socialistas.

Bulgaria.- Se planea la construcción de una planta de cis-1,4-poliisopreno de 60,000 toneladas anuales de capacidad en el complejo petroquímico de Bourgas.- Esta planta ha sido incluida en el sexto plan quinquenal para la industrialización de plantas químicas y petroquímicas y se construirá con la asistencia y el proceso isobutileno-formaldehído soviéticos.

Checoslovaquia.- Durante 1969, Checoslovaquia importó 65,700 toneladas de hule natural. Para reducir estas importaciones, el plan quinquenal 1970-75 incluía la construcción de una planta de cis-1,4-poliisopreno.

Polonia.- Hay anunciados planes para la construcción de una planta de cis-1,4-poliisopreno en la URSS, dada la disponibilidad de isopreno.

Rumania.- Este país planeaba la construcción de dos plantas de 50,000 toneladas anuales de capacidad de producción de isopreno para 1974. Estas plantas usarán el proceso isobutileno formaldehído ruso en una de ellas y un proceso similar desarrollado en Rumania en la otra. Adicionalmente se construirá en el complejo petroquímico de Borzesti una planta de cis-1,4-poliisopreno con una capacidad inicial de 60,000 toneladas anuales.

URSS.- En 1966 el Ministerio de Ciencia y Técnica Soviética y el Instituto Francés del Petróleo firmaron un acuerdo de intercambio científico y técnico de la tecnología para la producción de isopreno. En 1972 la URSS tenía dos plantas de isopreno de 50,000 toneladas anuales y tres plantas de 60,000 toneladas anuales. Las dos primeras usaban el proceso isobutileno-formaldehído y las segundas el de deshidrogenación del isopentano. Se planeaba aumentar la producción a 470,000 toneladas para 1975.

En la tabla 6 adjunta se dan cifras comparativas de la producción mundial de hules natural y sintético (ref. 24).

C) PRODUCCION NACIONAL.

Producción de hule natural.

Los primeros árboles de Hevea Brasiliensis — sembrados en el territorio nacional, fueron traídos a México por los ingleses en 1914. Los estados seleccionados para su desarrollo fueron Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Veracruz. A raíz de un convenio celebrado entre México y los Estados Unidos, en el año de 1940 se integró un grupo para el estudio de las posibilidades de cultivo del hule en nuestro país, cuyo resultado fué de 100,000 hectáreas cultivables.

En Valle del Palmar, Ver., se estableció un campo experimental que se comenzó a explotar comercialmente en 1943 subsidiado el 50 % de la inversión la S.A.G. — que en 1949 suspendió el subsidio provocando el abandono de los plantíos pues el árbol inicia su producción de látex hasta los 7 años. A la fecha quedan 1,400 hectáreas aproximadamente en Valle del Palmar. Al crearse la Comi

T A B L A 6.
PRODUCCION MUNDIAL DE HULE NATURAL SINTETICO

AÑOS	HULE NATURAL	% DEL TOTAL	HULE SINTETICO	% DEL TOTAL	HULE NATURAL + SINTETICO (Ton).
1960	1'953,740	51.0	1'874,409	49.0	3'828,149
1961	2'059,056	51.1	1'973,720	48.9	4'032,776
1962	2'086,614	48.3	2'235,236	51.7	4'321,850
1963	2'034,941	45.4	2'443,504	54.6	4'478,445
1964	2'199,803	44.0	2'794,685	56.0	4'994,488
1965	2'305,610	43.2	3'036,024	56.8	5'341,634
1966	2'389,744	41.6	3'322,638	58.5	5'682,382
1967	2'409,646	41.4	3'405,020	58.6	5'814,666
1968	2'550,098	39.4	3'926,689	60.6	6'476,787
1969	2'794,685	38.7	4'431,741	61.3	7'226,426
1970	2'804,429	37.3	4'715,157	62.7	7'519,586

sión del Papaloapan se otorgaron créditos para incrementar el cultivo del árbol del hule, sin obtenerse resultados satisfactorios, ya que a la fecha únicamente producen 144 hectáreas de las desarrolladas en ese programa.

La situación del cultivo del hule en México - tuvo oportunidad de mejorar cuando se decidió sustituir - con este cultivo el del café al ser acordada en la Organización Mundial del Café la reducción del número de planta ciones para estabilizar el precio de dicho producto..

Al final de 1960 se presentó un estudio según el cual se plantearían de 1962 a 1970, 20,000 hectáreas - con árbol del hule y en una etapa posterior se aumentaría el cultivo en la extensión necesaria para cubrir la deman da nacional de hule natural. El desarrollo de este pro- grama se basó en el establecimiento con la anuencia de la Asociación Nacional de la Industria Hulera, de un impuesto de 25 centavos por kilogramo de hule que se importara, habiendo decidido al Secretaría de Agricultura y Ganade- ría que dicho programa fuera conducido por el Instituto - de Investigaciones Agrícolas y su administración por el - Instituto Mexicano del Café.

Entre 1962 y 1965 la SAG entregó la recaba- - ción en aduanas del impuesto mencionado, reduciéndose la entrega a 5 millones en 1966 y suspendiéndose posterior- mente. En este período se plantaron 6,255 Has. corres-

pondientes al 30 % aproximadamente, del programa.

Entre 1970 y 1973 el programa estuvo deteni—do, estableciéndose posteriormente oficinas de compra, es—tudios de costos y fijación de precios. En mayo de 1975, se presentó un estudio al Presidente de la República, en—el que se señalaba la posibilidad de crear una empresa — para incrementar el cultivo del árbol del hule. Durante febrero de 1976 se firmó un convenio con la Cámara del Hu—le en base al cual actualmente se hacen entregas del mate—rial fijándose sus precios de acuerdo a la calidad del — producto. En la tabla 7 se dan datos de la producción, — importación y consumo del hule de 1967 a 1977.

Producción en el país de otros hules sintéticos.

En México el consumo de hules sintéticos se — efectúa en su mayor parte por la industria llantera y en—menor escala por las industrias del calzado, textil, de — la construcción y otras, (ver Consumo Nacional, Sección — D, Capítulo III).

La industria productora de hule sintético en—el país, está formada por 5 empresas que elaboran los —

TABLA 7.

DATOS HISTORICOS DEL CONSUMO DE HULE NATURAL

AÑO	Producción Tons.	Importación Tons.	Consumo Aparente Tons.	Tasa de Crecimiento %
1967	800	18,023.4	18,823.4	
1968	850	16,626.9	19,476.9	3.47
1969	996	22,066.2	23,061.2	18.40
1970	1,000	23,695.9	24,695.9	7.09
1971	1,500	26,596.9	28,096.9	13.77
1972	2,000	23,747.1	25,747.1	(8.36)
1973	2,500	24,974.7	27,474.7	6.71
1974	3,000	29,312.3	32,312.3	17.61
1975	3,620	30,456.4(p)	34,076.4(p)	5.46
1976	4,400	33,899.6(p)	38,299.6(p)	12.39
1977	4,900	32,329.9(p)	37,129.9(p)	(3.05)

FUENTES: ANIQ.
SIC.
PROGRAMA NACIONAL DEL HULE NATURAL.

elastómeros polibutadieno-estireno, butadieno-acrinolitrilo y polibutadieno.

Hasta el año de 1964 la totalidad de los hules consumidos en México fué de importación. La producción de látex estireno-butadieno la inició en 1965 la empresa Resistol, S. A., sin reflejar un impacto apreciable en la importación total. En el año de 1967 en que se -- inició la producción en gran escala de hule estireno-butadieno para la empresa Hules Mexicanos, S.A., aunque la importación de hule natural continuó en aumento, la de -- aquel tipo de hule comenzó a decrecer desde un máximo alcanzado en 1966 de 36,208 toneladas, a 789 toneladas en -- el año de 1977. A la fecha los productores de hule SBR -- son hules Mexicanos, S. A. y Negromex, S. A. y la capacidad instalada para la producción de látex de estireno--butadieno es de 4,125 toneladas por año.

En las tablas adjuntas aparecen las producciones, importaciones y consumo de hule estireno-butadieno + (SBR; Tabla 8), látex estireno-butadieno (SBR; tabla 9), polibutadieno (Tabla 10) y polibutadieno-acrilonitrilo -- (Tabla 11).

TABLA 8
DATOS HISTORICOS DEL CONSUMO DE HULE S.B.R.

AÑO	Producción (Tons.)	Importación (Tons.)	Exportación (Tons.)	Consumo Aparente (Tons.)	Tasa de Crecimiento (%)	Capacidad Instalada (Tn./a.)
1967	18,400	12,115	219	30,296		44,500
1968	29,000	336	2,326	27,010	(10.85)	44,500
1969	32,000	383	3,628	28,755	6.46	44,500
1970	33,000	506	1,207	32,299	12.32	44,500
1971	36,383	430	3,217	33,596	4.02	59,500
1972	41,353	370	4,609	37,114	10.47	59,500
1973	40,759	704	1,085	40,378	8.79	59,500
1974	38,889	9,266	4.5	48,150.5	19.25	59,500
1975	44,498	2,196(p)	153	46,541	(3.34)	59,500
1976	51,529	789(p)	1,078(p)	51,240	10.10	59,500

FUENTES: ANIQ.

SIQ

SHCP

- NOTAS: (1) En el primer semestre de 1977, se cuenta ya con una capacidad instalada de 64,500 t/a.
 (2) Productores: Hules Mexicanos, S.A. y Negromex, S. A.

TABLA 9

DATOS HISTORICOS DEL CONSUMO DE LATEX S.B.R.

AÑO	Producción (Tons.)	Importación (Tons.)	Exportación (Tons.)	Consumo Aparente (Tons.)	Tasa de Crecimiento (%)	Capacidad instalada da (Tons./a.)
1967	1,374	018		1,992		4,125
1968	1,506	869		2,365	18.72	4,125
1969	2,000	437	57	2,380	0.63	4,125
1970	2,300	616	104	2,812	18.15	4,125
1971	2,540	420	160	2,800	(0.43)	4,125
1972	2,870	849	136	3,583	27.96	4,125
1973	3,060	1,256	143	4,173	16.47	4,125
1974	3,750	553	55	4,248	1.8 (18.06)	4,125
1975	2,921	570(p)	10	3,481		4,125
1976	3,540	944(p)	59	4,475	28.55	4,125

FUENTES: ANIQ.,
SIC,
SHCP.

NOTAS: (1) Los datos son en base seca.
(2) Productor: Industrias Resistol, S. A.

TABLA 10.
DATOS HISTORICOS DEL CONSUMO DE POLIBUTADIENO

A Ñ O	Producción (Tons)	Importación (Tons)	Exportación (Tons)	Consumo Aparente (Tons)	Tasa de Crecimiento (%)	Capacidad Inst. (Ton/a)
1967		3,891		3,891		
1968	2,280	2,527		4,777	22.77	
1969	5,500	211		5,711	19.55	
1970	7,000	292	690	6,602	15.60	
1971	7,150	237	451	6,936	5.06	
1972	8,600	292	683	8,209	18.35	
1973	9,900	661	320	10,241	24.75	
1974	10,982	643	350	11,275	10.10	16,000
1975	11,699	434.5(p)	34	12,099.5	7.3	15,000
1976	12,587	547 (p)	-	13,134	8.5	15,000

PRODUCTORES: Negramex, S.A.

FUENTES: ANIQ.
 SIC.
 SHCP.

DATOS HISTÓRICOS DEL CONSUMO DE POLIBUTADIENO-ACRILONITRILLO

TABLA 11.

AÑO	Producción (Tons.)	Importación (Tons.)	Exportación (Tons.)	Consumo Aparente (Tons.)	Tasa de Creadmento (%)	Capacidad Instalada (t/a)
1987	385	385		385	47.27	1,500
1988	466	466		466	(17.81)	1,500
1970	100	429	529	529	13.82	1,500
1971	280	109	389	389	(26.47)	1,500
1972	450	71	521	521	33.93	1,500
1973	585	97	682	682	30.90	1,500
1974	784	145	929	929	36.22	1,500
1975	817	63(p)	880	880	(9.27)	1,500
1976	1,144	31(p)	1,138	1,138	29.32	1,500

PRODUCTORES: Hules Mexicanos, S. A.

PROYECTO: 3,000 t/a.

FUENTES: ANIQ.

SIC

SHCP

D) CONSUMO NACIONAL.

Como se ha señalado, bajo el punto de vista - de las aplicaciones finales, la industria hulera del país se puede dividir en dos grandes grupos, la industria llantera y otros usos.

La participación relativa del sector corres-
pondiente a la industria llantera dentro del consumo to-
tal de la industria del hule es de 60%, mientras que el -
40 % del consumo se dedica a los otros usos entre los que
destacan el recubrimiento de llantas, la fabricación de -
cámaras, mangueras, bandas de transmisión, artículos do-
mésticos, la industria del calzado, globos, guantes, pelotas, etc.

La industria nacional de los hules sintéticos,
ha tenido durante más de 10 años un crecimiento continuo,
sin embargo durante el año de 1975 sufrió una reducción -
de demanda causada por la situación económica nacional, -
especialmente en la industria llantera, de la cual se rep
uso a partir de 1976.

La producción y el consumo aparente domésti-
cos, incluyendo el látex, durante los años 1973 a 1976 es:

	1973	1974	1975	1976
	(MILES DE TONELADAS)			
Producción	54.3	54.4	59.9	68.9
Exportaciones	1.5	0.5	0.2	1.2
Importaciones	15.0	24.9	15.1(p)	17.0(p)

Y a fines de 1975 se estaban desarrollando programas de expansión con una inversión proyectada de \$185 millones de pesos. La industria de los productos químicos — del hule también aumentó su producción de 1973 a 1975, habiendo durante 1976 una demanda errática debido a las condiciones reinantes en el país.

La industria llantera

La fabricación de llantas en México se inició en el año de 1924 en que se estableció la compañía General-Popo, seguida en 1930, 1933 y 1937 por la Goodrich Euzkadi, Goodyear Oxo y la Compañía Hulera el Centenario respectivamente, uniéndose al grupo de productores Uniroyal, S. A., — la producción de estas empresas ha permitido la autosuficiencia del país en el abastecimiento de llantas pero en los años 1975 y 1976 se tuvieron serios problemas debido principalmente a los costos mayores de la materia prima, —

la situación económica y la intranquilidad continua en el sector laboral, llegando al paro y obligando consecuentemente a la importación de estos productos. No obstante, los cinco productores nacionales de llantas, continuaron con sus planes de expansión buscando aumento de capacidad de producción y la manufactura de nuevos tipos de llantas. Anteriormente se había reportado que la industria tendría que duplicar su inversión de \$1500*millones de pesos para que en 1979 se aumentara la producción hasta una capacidad de 40,000 unidades diarias. En relación con los planes de expansión mencionados, Hulera Euzkadi recibió la aprobación de un crédito de \$3.68 millones de dólares por parte de un banco Norteamericano y Uniroyal confirmó en 1975 sus planes de invertir \$250 millones de pesos en una nueva planta en Querétaro. La industria huletera cuenta con más de 1300 obreros y otros tantos empleados.

Una estadística de producción de llantas para camiones y automóviles se muestra en la tabla 12 adjunta.

La composición normal de una llanta es de 53%

* Valor anterior a la devaluación de 1976.

TABLA 12.

Producción de Llantas para Vehículos.

(000 de unidades)

	Automóviles	Camiones
1960	677	566
1967	1,494	1,031
1968	1,756	1,102
1969	1,868	1,305
1970	2,009	1,300
1971	2,392	1,346
1972	2,899	1,423
1973	2,872	1,623
1974	2,905	1,694
1975	3,332	1,866
1976	3,933	2,217
1977	3,902	2,190

Fuente: Dirección General de Estadística, S.I.C.

de hule, 25% de negro de humo y 22 % compuesto por aceite-extendedor, el azufre, las cuerdas y otros materiales. El peso de las llantas de automóvil varía entre 7.5 y 15 kilos, mientras que el peso promedio de las llantas para — camión es de 30 kilos. El empleo de hule natural o cis-1,4-poliisopreno en cada llanta representa 1 kilo en promedio en las llantas convencionales para automóvil y 2 ki- los en las llantas radiales para autos y para las llantas de camión el 60 % aproximado del peso de hule empleado.

Puesto que el empleo de las llantas radiales— está cada vez más extendido ya que tienen mayor vida útil que las llantas convencionales así como mayor resistencia en general y dado que en su fabricación es imprescindible el uso de hule natural o cis-1,4-poliisopreno por su difu- sión calorífica y adhesividad, es de esperarse un incre- mento significativo en la tasa de crecimiento del insumo- de hule natural o cis-1,4-poliisopreno en la manufactura- de llantas de automóvil, mientras que el crecimiento en — el consumo de estos tipos de hule en llantas para camión debe ser correlativo con el crecimiento de la industria — camionera (Ver tabla 13).

Otros consumos.

Del hule natural o el cis-1,4 poliisopreno — los consumos adicionales a la fabricación de llantas están

TABLA 13
VENTA DE VEHICULOS NUEVOS.

	<u>Autos</u>	<u>Camiones*</u>	<u>Total</u>
1963	49,292	27,224	76,516
1964	61,243	33,198	94,441
1965	66,902	30,493	97,395
1966	81,132	33,241	114,373
1967	87,173	39,818	126,991
1968	102,019	44,758	146,777
1969	114,708	51,653	166,361
1970	132,802	54,823	187,625
1971	148,526	58,938	207,464
1972	163,678	69,759	233,437
1973	178,191	83,799	261,990
1974	234,223	97,955	332,218
1975	231,108	114,789	345,897

* Incluye la venta de autobuses para pasajeros y de tractocamiones.

FUENTE: A.M.I.A.

comprendidos en la fabricación de zapatos tenis, en auto-claves, en ligas especiales y en usos más exclusivos.

Los elastómeros especiales se utilizan en -- aplicaciones que requieren resistencia a diferentes com-- puestos químicos, ocupándose en recubrimientos para tan-- ques, asientos de válvulas, mangueras y sellos para la in dustria química, recipientes especiales, etc. Entre es-- tos tipos de hules se incluyen el neopreno, el polibuta-- dieno, el polibutadieno-acrilonitrilo, el hule butilo, el polietileno-propileno, el poliisopreno y los tioplastos -- cuyos consumos se dan en las tablas 10, 11, 14 y 15.

En los casos en que el precio de la materia -- prima debe reducirse, se emplean hules de alto peso mole-- cular óleo-extendidos como en la fabricación de suelas -- de hule, bandas de transmisión, mangueras y multitud de -- usos.

El resto de las aplicaciones puede ser cubierto con el uso de hules SBR de manufactura nacional.

Los diferentes tipos de látex se emplean en -- aquellos casos en los que la suspensión acuosa es ventajo sa en cuanto a manejo y manufactura de los productos final es, como son los globos, guantes, telas ahuladas, adhesi-- vos, etc. En la tabla 16 se muestra el consumo de diver-- sos tipos de látex en el país.

TABLA 14.
CONSUMO NACIONAL DE NEOPRENOS.

AÑO	Neopreno Sólido (Tons.)	Tasa de Crecimiento (%)	Neopreno Látex (Tons.)	Tasa de Crecimiento (%)	Neopreno Total (Tons.)	Tasa de Crecimien to (%)
1967	1.358.0	49.48	46.0	123.48	1,404.0	51.90
1968	2,029.9	(20.86)	102.8	427.14	2,132.7	0.73
1969	1,606.4	32.12	541.9	(57.54)	2 148.3	9.51
1970	2,122.4	(3.69)	230.1	124.68	2,352.5	8.86
1971	2,044.0	25.93	517.0	32.69	2,561.0	27.29
1972	2 574.0	18.80	686.0	30.32	3,260.0	21.23
1973	3,058.0	12.11	694.0	25.68	3,952.0	15.28
1974	3 428.3	(19.49)	1,127.6	(51.14)	4,555.9	(27.33)
1975	2,760.0	14.20	55.0	31.58	3,311.0	17.09
1976	3 152.0		725.0		3 877.0	

FUENTE: ANIQ.

TABLA 15.

DATOS HISTORICOS DEL CONSUMO DE OTROS HULES .

AÑO	Hule Butilo (Tons.)	Polielileno- Propileno (Tons.)	Poliisopreno (Tons.)	Tioplastos (Tons.)	Total (Tons)
1967	2,386	318	641		3,345
1968	2,793.8	305.2	616.3	2	3,717.3
1969	2,814	202.6	789	6	3,811.6
1970	3,406.1	374.7	786	2	4,568.8
1971	4,184	368	1,119	5.1	5,676.1
1972	3,590	369	1,167	5	5 131
1973	5,345.3	621.5	1 868	8	7,842.8
1974	5,236.3	1,507.8	1,985.6	2.6	8,732.3
1975	5,140	1,186	1,324	2	7,652
1976	6,501	1 610	1,519	0.2	9,630.2

FUENTE: ANIQ.

TABLA 16.

CONSUMO DE LATICES EN BASE HUMEDA EN EL PAIS DE LOS
ULTIMOS AÑOS.

	<u>1967</u>	<u>1968</u>	<u>1969</u>	<u>1970</u>	<u>1971</u>	<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>	<u>1975</u>	<u>1976</u>
S.B.A.	1,992	2,365	2,380	2,812	2,800	3,583	4,173	4,248	3,481	4,475
NATURAL Y POLIISOPRENO	2,175	3,998	4,139	4,519	4,595	4,706	6,716	7,064	6,742	7,729
OTROS	377	415	1,030	418	941	1,219	1,392	1,450	828	922
T O T A L:	4,544	6,778	7,549	7,749	8,336	9,508	12,280	12,672	11,051	13,126

FUENTE: ANIQ.

Basándose en las tendencias de consumo de los diferentes tipos de hule natural y sintéticos así como en la situación del mercado nacional, se deduce que en la estrutura futura del consumo de hules sintéticos, la participación del hule SBR y su látex, del hule de polibutadieno y de hule nitrilo juntos, seguirá reduciéndose a expensas del cis-1,4-poliisopreno, del neopreno, del hule butilo y de otros hules sintéticos.

E) IMPORTACION.

Las importaciones comprenden los siguientes tipos de hule:

Hule natural

Hules SBR especiales

Látex SBR

Hule de polibutadieno

Hule de polibutadieno-acrilonitrilo

Neoprenos

Hule butilo

Polietileno-prbpiileno

Poliisopreno

Tioplastos

En el caso de los cinco primeros la importa--
ción es parcial y para los cinco últimos la importación,-
es total.

Las estadísticas de importación y consumo se-
indican en las tablas 7, 8, 9, 10, 11, 14 y 15.

F) EXPORTACION.

Dentro de los productos de la industria hule-
ra los principales que se están exportando son el hule --
SBR., el látex SBR y el hule de polibutadieno, habiendo -
posibilidades de expansión en esos y otros tipos. Las es-
tadísticas de exportación de los productos mencionados se
muestran en las tablas 8,9 y 10.

G) DETERMINACION DE LAS AREAS DE CONSUMO.

Como se ha establecido, el consumo principal-
del cis-1,4-poliisopreno es en la manufactura de las llanu

tas de camión, seguido por la elaboración de llantas radiales y de las convencionales, por lo que el área fundamental de consumo es aquella en la que se localicen las industrias llanteras.

En el país los productores de llantas son las cinco grandes empresas ya mencionadas a saber: General Popo S. A., Compañía Hulera Euzkadi S. A., Compañía Hulera-Goodyear Oxo S. A., Firestone El Centenario S. A. y Uniroyal S. A., las cuales tienen plantas en la ciudad de México y cuyas expansiones debido al programa de descentralización, se encuentran localizadas en el Centro de la Republica a menos de 300 kms. de la ciudad de México. Es de hacerse notar que el 42 % de los vehículos automotrices circula en el área metropolitana, por lo que la localización de la industria llantera seguirá orientada al centro de la república.

Con el consumo de la industria hulera se cubre más del 90 % del consumo nacional de hule natural, distribuyéndose el consumo restante en diversas partes de la república y destacando entre estas aplicaciones la industria del calzado cuyas principales instalaciones se localizan en León Gto., Guadalajara, Jal., y la Ciudad de México.

H) PROYECCION DE LA DEMANDA .

El estudio de la demanda fué basado en proyecciones y cálculos efectuados por organismos especializados (ref. 2,8,23) además de la investigación de las principales industrias consumidoras.

La proyección de la demanda fué considerada - hasta 1985 tomando en cuenta el riesgo que implicaría hacer una predicción a mayor plazo, dada la situación mundial que prevalece en la industria del petróleo, así como también el alto desarrollo tecnológico existente en el - que se descubren continuamente nuevos productos y se abaten significativamente los costos de producción.

En el futuro, la demanda de los diferentes tipos de hule dentro de los cuales se encuentran los hules-sintéticos, está ligada en primer lugar con la fabricación de llantas y cámaras y en segundo lugar con el consumo de estos compuestos dentro de otras ramas, tales como industria textil, fabricación de calzado, fabricación de papel, elaboración de pinturas y otras partes del sector-manufacturero.

Basándose en que todas estas ramas mantengan su ritmo de crecimiento, el consumo nacional futuro de hules mantendrá el suyo, por lo que se ha considerado que -

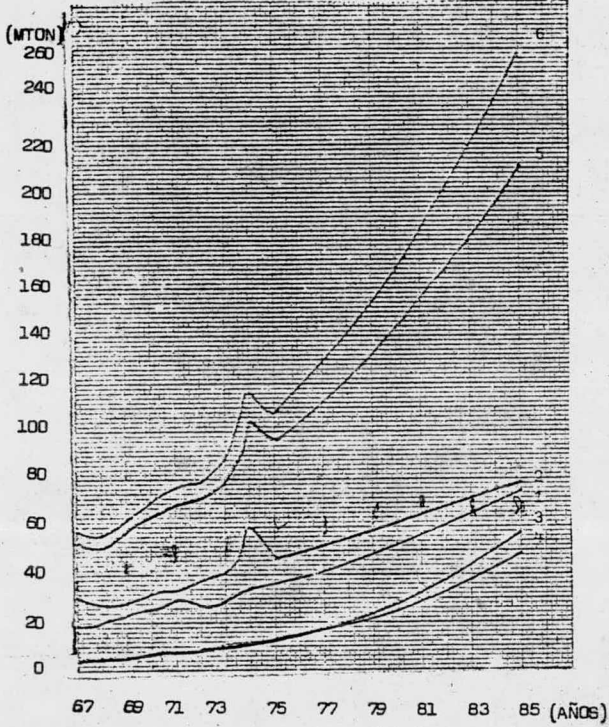
dicho consumo crecería con un incremento promedio anual de 9.55 %. Las cifras mostradas representan el consumo doméstico y si se tomaran en cuenta las posibles exportaciones de hule mismo o de sus manufacturas, los consumos aumentarían. Las proyecciones de los hules sintéticos se han obtenido como la suma de cada uno de los hules y látices, a excepción del polisopreno, (Gráfica No. 1), cuya proyección se añadió a la del hule natural debido a su estructura y usos.

Adicionalmente se obtuvo el consumo de hule natural y sintético para llantas a partir de la proyección de la producción nacional de llantas de automóvil y camión (Gráfica No. 2).

Según la evolución de mercado, en la estructura del consumo de hules la participación del hule natural y de algunos otros hules seguirá reduciéndose mientras que la de los hules sintéticos aumentará.

En lo referente a la participación del hule natural sumada a la del poliisopreno en el mercado, que en 1967 era de 33.5 %, se ha estimado que para 1985 disminuirá a 29 %. La participación de los otros hules sintéticos, que en 1967 era de 66.5 %, se incrementará consecuentemente a 71 % para 1985. (Gráfica No. 3).

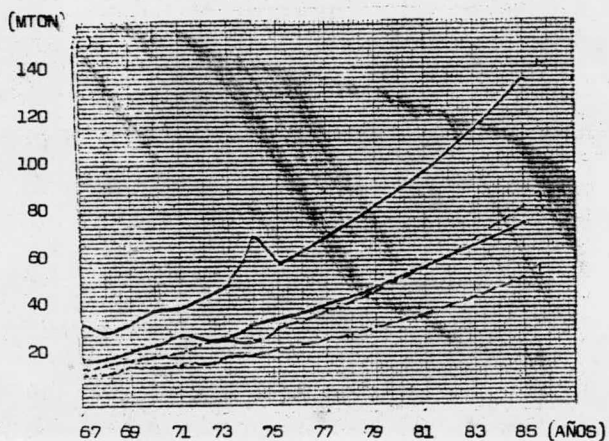
DEMANDA HISTORICA Y PROYECCIONES DE HULE NATURAL
Y SINTETICO



1. HULE NATURAL + POLIISOPRENO.
2. SBR.
3. POLIBUTADIENO.
4. OTROS HULES SINTETICOS (NEOPRENO, FBA, BUTILO, POLIESTIRENO-PROPILENO).
5. HULE NATURAL + POLIISOPRENO + SBR + POLIBUTADIENO.
6. HULE NATURAL + SINTETICOS.

GRAFICA No. 2

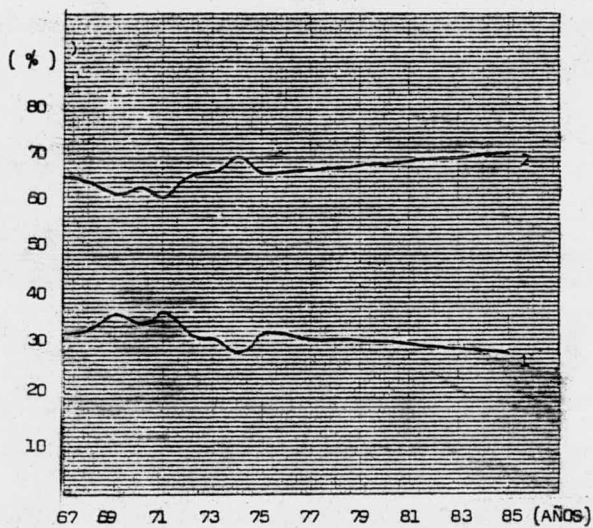
DEMANDA DE HULE NATURAL Y SINTETICO PARA LA PRODUCCION DE LLANTAS Y DEMANDA TOTAL DE ESTOS HULES.



1. HULE NATURAL EN LLANTAS.
2. HULE NATURAL TOTAL.
3. HULE SINTETICO EN LLANTAS.*
4. HULE SINTETICO TOTAL.*

* INCLUYE SBR Y POLIBUTADIENO

PARTICIPACION RELATIVA DE HULE NATURAL Y SINTETICO
DENTRO DEL CONSUMO TOTAL DE HULES.



1. PARTICIPACION DEL HULE NATURAL + POLIISOPRENO.
2. PARTICIPACION DE LOS HULES SINTETICOS.

I) DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE DISEÑO.

De acuerdo a la proyección de la demanda establecida, para el año de 1985 se tendrá en el país un consumo de 75,000 toneladas anuales de hule natural y poliisopreno acumulados.

Con el objeto de satisfacer la demanda mencionada, sería indispensable plantar, adicionalmente a la superficie actualmente cultivada, unas 140,000 hectáreas, - las cuales empezarian a producir después de 7 años de haberse sembrado.

Según un estudio efectuado alrededor del año de 1940, México disponía de 100,000 hectáreas susceptibles de ser cultivados con *Hevea Brasiliensis*. La situación existente indica que es poco probable que antes de 1979 se planten unas 90,000 hectáreas, para tener - 100,000 hectáreas produciendo hule natural en 1985. Este renglón es sumamente importante ya que la fuga de divisas por importación de hule natural y poliisopreno es bastante alta, pudiéndose mencionar como ejemplo que el valor de este renglón durante 1974, fué de 325 millones de pesos, sin incluir el látex respectivo.

Como consecuencia de las consideraciones anteriores se ha estimado conveniente la instalación de una -

planta para la producción de poliisopreno con una capacidad de 70,000 toneladas anuales.

J) ESTRATEGIA DEL MERCADO.

En México el isopreno se usa exclusivamente - en la fabricación de hule butilo y su consumo representa el 0.5 % aproximadamente del isopreno necesario para suministrar los consumos actuales de hule natural, de poliisopreno y de isopreno acumulados.

Como se ha establecido, la estructura del mercado del hule natural y del poliisopreno acumulados; está formada por un 70 % del consumo en la industria llantera y el 30 % restante en la fabricación de otros productos - mencionados en la sección correspondiente a usos y sucedáneos (Capítulo II, inciso F).

La producción del isopreno y del poliisopreno pretende sustituir la importación existente de estas materias primas y rescatar aquellos usos en los cuales se han empleado sucedáneos de propiedades inferiores, cuyo uso está justificado por los costos y condiciones de provisión de estos productos de importación, los cuales se podrían superar con ventaja al establecerse la producción doméstica.

K) DIFERENTES PROCESOS DE PRODUCCION.

a) Producción de hule natural.

El hule natural se encuentra en cantidades — variables en cientos de especies vegetales de diversas — partes del mundo. Proviene principalmente del *Hevea Brasiliensis* y del *H. Guyanensis*, aprovechándose también el jugo leñoso de otras plantas: *Manihot Glaziovii* y *M. Dichotoma*, que dan el caucho de Ceará; *Euphorbia Intisy*, — del caucho de Madagascar; ciertas castillas o hules de — América central (*Castilloa Ulei* y *Castilloa Elastica*); la higuera del caucho (*Ficus Elastica*) propia de Asia; va — rias especies africanas del género *Landolphia*; el guayule (*Parthenium Argentatum*), que se cultiva en México; un taraxacón cultivado en la Unión Soviética (*Taraxacum Kok — Saghyz*), etc. El látex de todas estas especies pueden — coagularse y usarse con fines similares a los propios del hule, sin embargo los únicos que actualmente tienen impor — tancia comercial son la *Hevea Brasiliensis*, que aunque — proviene de la zona del Amazonas en América del Sur, ac — tualmente se cultiva en plantaciones en todos los países — tropicales y el *Taraxacum Kok-Saghyz*, que es una especie — de diente de león que crece como planta bienal en Rusia.

Los grados comerciales del hule natural se — cultivan principalmente en tres regiones del mundo: Asia

Sudoriental, la parte tropical de América del Sur y -- Africa tropical. El clima húmedo y caliente requerido se localiza en un cinturón de 2,250 km. de ancho que circunda la tierra en el Ecuador y que queda comprendido entre los 10° de latitud norte y los 10° de latitud sur.

En el *Hevea Brasiliensis* el látex, se encuentra en conductos delgados situados inmediatamente debajo de la corteza y encima del cambium o capa de crecimiento. El método más eficaz y moderno para cosechar el látex es la incisión espiral que se hace cortando la corteza externa del árbol y penetrando la corteza interna. La inci- sión se extiende de cuarto a la mitad alrededor del árbol a una distancia de 60 cms. a 1.50 m. del suelo, utilizando un cuchillo especial y recogiendo el líquido en un vaso recolector pequeño colocado en la parte más baja del corte y en el que previamente se ha puesto una pequeña cantidad de un estabilizante para evitar la coagulación. Cada mañana se efectúa un corte y cada cuatro días se rasca para suprimir la película de látex que se coagula sobre la herida. Durante el tiempo que fluye el látex en el árbol puede producir hasta 100 cm³ de látex con un contenido normal de 30 a 36 % del hidrocarburo del hule y de 30 a 40 % de sólidos; éste se lleva a la estación de rec olección en donde se eliminan la suciedad y la corteza que pueda contener y se le añade más estabilizante mandándose posteriormente a la fábrica central en donde se centrifuga o coagula.

Como el látex es muy sensible a la acción de las bacterias, debe añadirsele un estabilizante adecuado para protegerlo durante el tiempo que transcurre desde que sale del árbol hasta que se usa; en general se emplea amoníaco diluido, el cual a pesar de su volatilidad no mata las bacterias pero si disminuye su crecimiento. En algunas plantaciones se usan pequeñas cantidades de formaldehído para efectuar la esterilización de látex, añadiéndole además amoníaco antes de su envío; otros productores emplean el pentaclorofenato sódico ("Santobrita") a una concentración de un 0.3% del látex, adici^onándole también un 0.1% de amoníaco y obteniendo así un látex con unas propiedades de conservación excepcionalmente buenas.

El árbol Hevea crece a una altura promedio de 12 a 15 m. y tiene unas hojas ovaladas que se agrupan tres formando un trebol, las cuales tienen unos 20 cm. de longitud. Su vida económica es cuando menos de 40 años y mediante polinización cruzada e injerto de árboles de gran rendimiento en retoños normales, se han producido familias de descendientes a los que se da el nombre de "colonias", en las que se han obtenido incrementos significativos en la producción de hule. De esta manera mientras que las plantaciones silvestres dan de 280 a 560 kg/hectárea anualmente, las plantaciones seleccionadas han obtenido promedios hasta de 2,240 kg/hectárea anuales y en algunos casos experimentales hasta de 2,580 kg/hectárea anuales. El Instituto de Investigación del hule de Malasia, ha reportado casos de sus retoños de la "Serie-600" los cuales han dado un rendimiento de más de 990 kg/hectárea anuales durante su primer año de sangrado comer

cial a los 6-7 años de haber florecido por primera vez.— El promedio de producción de las plantaciones modernas es de 800 a 1200 kg/hectárea anuales y el promedio mundial es de 550 kg/hectárea anuales.

El látex natural usado en la industria se concentra en las plantaciones desde un 30-40% de sólidos hasta un 62-68% utilizando cualquiera de los cuatro métodos siguientes: Centrifugación, descremado, evaporación y — electrodecantación.

La centrifugación se basa en la diferencia — de pesos específicos entre el caucho que tiene un peso específico de 0.91 y el suero que tiene un peso específico de 1.02. En este proceso, una centrifuga de tipo espe—cial separa la crema de un líquido que contiene 10 % de sólidos aproximadamente; la porción cremosa se vuelve a es—tabilizar y se ajusta a la proporción deseada de sólidos para su envío. Por este procedimiento se han preparado — látex concentrados especiales para aplicaciones en que sea necesaria una baja absorción de agua y buenas propiedades ~~elásticas~~, por medio de dilución y centrifugación adicional del látex de concentración normal.

Mediante el procedimiento de descremado se logra una aglomeración reversible de las partículas de caucho al agregar al látex una cantidad pequeña de goma tal como musgo de Irlanda, goma tragacanto o alginato amónico.

Esta aglomeración es debida al menor movimiento browniano de la partícula y a su mayor tamaño, produciéndose en la parte superior del látex de donde la mayor parte de los sólidos pueden ser descremados.

Tanto estos látices como los obtenidos por centrifugación, pierden la mayor parte de las impurezas solubles en agua al ser eliminadas en el suero; por lo tanto estos látices son de interés particular en aquellos casos en que sean necesarios bajos niveles de impurezas.

Uno de los métodos comerciales más antiguos es el de evaporación, aunque este tipo de concentración ya no es de fundamental importancia. La concentración se efectúa en un tambor rotatorio en el cual otro tambor giratorio menor da más superficie de evaporación y agita al látex al cual se han agregado estabilizantes, álcalis y un jabón. Todos estos aditivos permanecen en el producto final, pudiendo llegar a alcanzar concentraciones hasta de 6-7% del látex concentrado. Estos látices pueden alcanzar hasta un 75 % de sólidos y se emplean en aplicaciones especiales.

El método de la electrodecantación es poco usual. En él se llena con látex un depósito rectangular con un electrodo en cada extremo y múltiples estrías colo

cadras a 1 cm. de separación entre sí, en las que se colocan hojas de celofán regenerado; al aplicarse la corriente eléctrica, las partículas se aglomeran en el celofán, subiendo hacia la parte superior y formando una crema. Esta parte cremosa superior es desplazada al añadir látex continuamente en la parte media del depósito, obteniéndose así látex con 60-62% de concentración.

Para la producción del hule o caucho seco, el látex se traslada desde el punto de recolección a la fábrica en donde se estabiliza de nuevo con bisulfito sódico, si fuera necesario, diluyéndose hasta un 15% aproximadamente y se coagula por la adición de ácido fórmico o acético diluidos. Con esta operación se provoca la aglomeración de las partículas finísimas de caucho, en grandes masas que se llevan a las mezcladoras de lavado y extracción de agua. A continuación el producto se lava cuidadosamente y se seca en una estufa obteniéndose así el caucho del tipo "crepé claro". Para preparar la "hoja ahumada", el caucho recién coagulado no se lava, sino que se pasa a laminadoras de rodillos de velocidad constante en donde se le extrae el agua, obteniéndose hojas húmedas que posteriormente se secan con humo de madera. El "caucho marrón" es resistente a los mohos y bacterias y es producido por el método del ahumado lento. Además de las variedades de cauchos sólidos mencionadas, las plantaciones producen una variedad de tipos diferentes tales como-

el "crepe marrón" y otros de inferior calidad.

En la tabla siguiente se da una breve idea -- de las impurezas presentes en los tipos "hoja ahumada" y "crepe claro" (ref. 9):

	Hoja ahumada % promedio	Crepé claro % promedio
Humedad	0.61	0.42
Extracto con acetona	2.89	2.88
Proteínas (N x 6.25)	2.82	2.82
Cenizas	0.38	0.30
Hidrocarburos del caucho (por diferencia)	93.30	93.58

En la fracción extraída con acetona se encuentran ácidos grasos, esteroides y ésteres. El efecto de los ácidos grasos es muy importante en la vulcanización, mientras que se considera que en los esteroides y ésteres se encuentran los antioxidantes naturales que protegen al hule durante su manipulación y almacenaje. A la fracción proteínica se le atribuye un efecto importante en la velocidad de vulcanización del hule natural, la cual

puede variar de un lote a otro en los casos en los que el coagulo se deteriore durante el secado o si se produce putrefacción antes de la coagulación. El contenido de cenizas del hule natural, no es importante por lo general, a menos que contengan cobre y manganeso, los cuales catalizan la oxidación y el deterioro subsiguiente del hule. - Ya que estos dos elementos se encuentran concentrados en la corteza del árbol, es importante extraer los residuos de ella que se puedan encontrar en el látex, a la mayor brevedad posible.

Una vez que se han obtenido las hojas del producto, éstas se acumulan en balas de tamaño adecuado, las cuales son suficientemente estables, para permitir su almacenamiento por un período de varios años.

Como se ha mencionado, este hule puede ser utilizado en crudo o compuesto y procesado con diversos -- aditivos.

Con la obtención de árboles de alta producción, el gobierno de la Federación de Malasia estima que el reemplazo de las antiguas plantaciones con dichos árboles producirá una reducción de 35 % en los costos de san- grado, 65% en los costos de cultivo y 60 % en los cos- tos generales. (Ver el diagrama de producción de hule na tural en la Fig. 1) (Ref. 4,7,9,11).

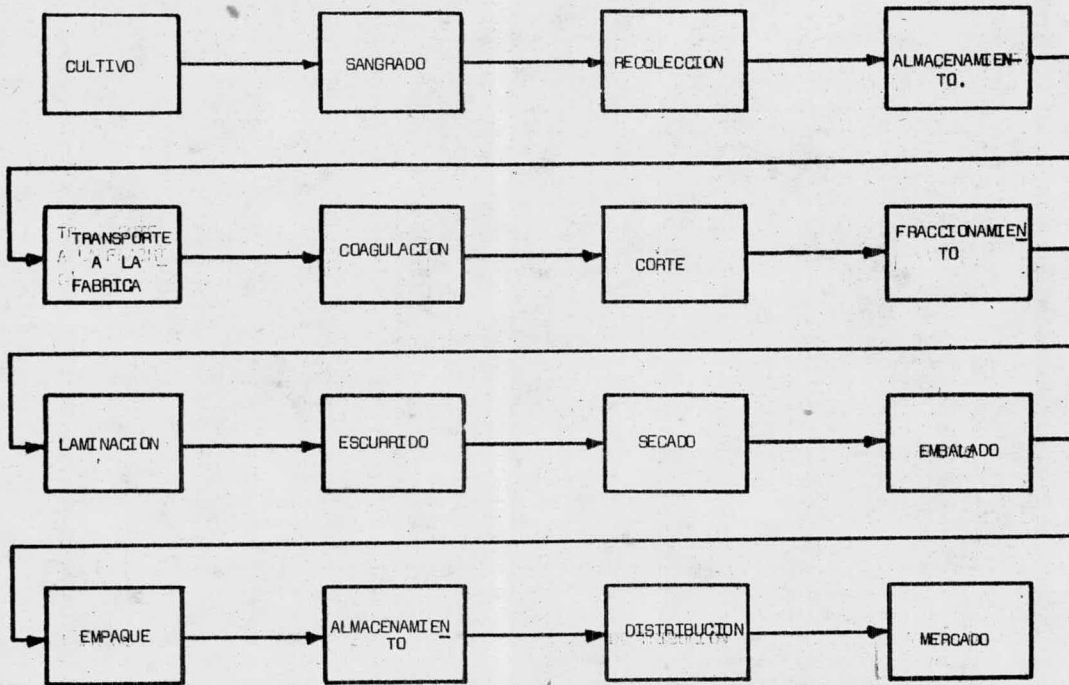


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE PRODUCCION DEL HULE NATURAL

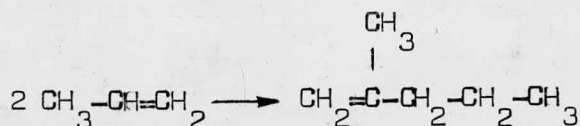
b) Producción de Isopreno.

El primer interés comercial en la elaboración del isopreno fué para emplearlo como materia prima en la manufactura del hule butilo. Hasta el año de 1954 la demanda de isopreno en el mundo fué baja, habiéndose producido por la desintegración de las naftas por medio de vapor y su recuperación de las fracciones resultantes con solventes selectivos. Sin embargo alrededor del año de 1954 se logró el desarrollo de la síntesis estereo-específica del cis-1,4-poliisopreno con lo que nació el interés por la producción en gran escala del isopreno, la cual era inasequible por el método mencionado. El alto grado de pureza y el costo del isopreno necesarios para sintetizar y hacer comercialmente práctico el cis-1,4-poliisopreno, estimularon a la investigación de nuevos métodos de fabricación con excelentes resultados. A la fecha se explotan comercialmente o son potencialmente explotables, los siguientes procesos:

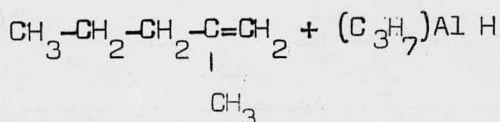
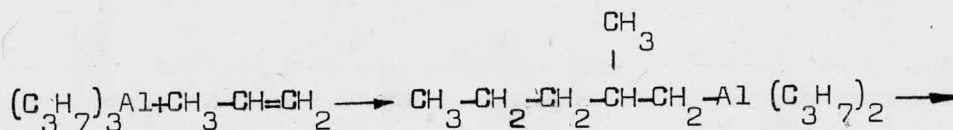
Proceso Goodyear-Scientific Design, Proceso Houdry, Proceso IFP, Proceso Ruso, Proceso Snam Progetti y el Proceso Shell.

Proceso Goodyear-Scientific Design.

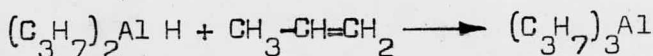
El proceso del dímero de propileno, desarrollado por las compañías Goodyear Tire and Rubber Co. y Scientific Design Co., involucra tres pasos, empezando por la dimerización del propileno para obtener 2-metil-1-penteno, en presencia de tri-n-propilaluminio como catalizador:



Se han probado otros catalizadores para esta reacción tales como ácido fosfórico diluido, sílica-alúmina, sílica-alúmina impregnada con níquel y alúmina con trióxido de molibdeno, pero no han mostrado una eficiencia tan alta como el catalizador usado. Se han propuesto reacciones intermedias en este paso del proceso, las cuales muestran que el catalizador puede ser recuperado y reusado:

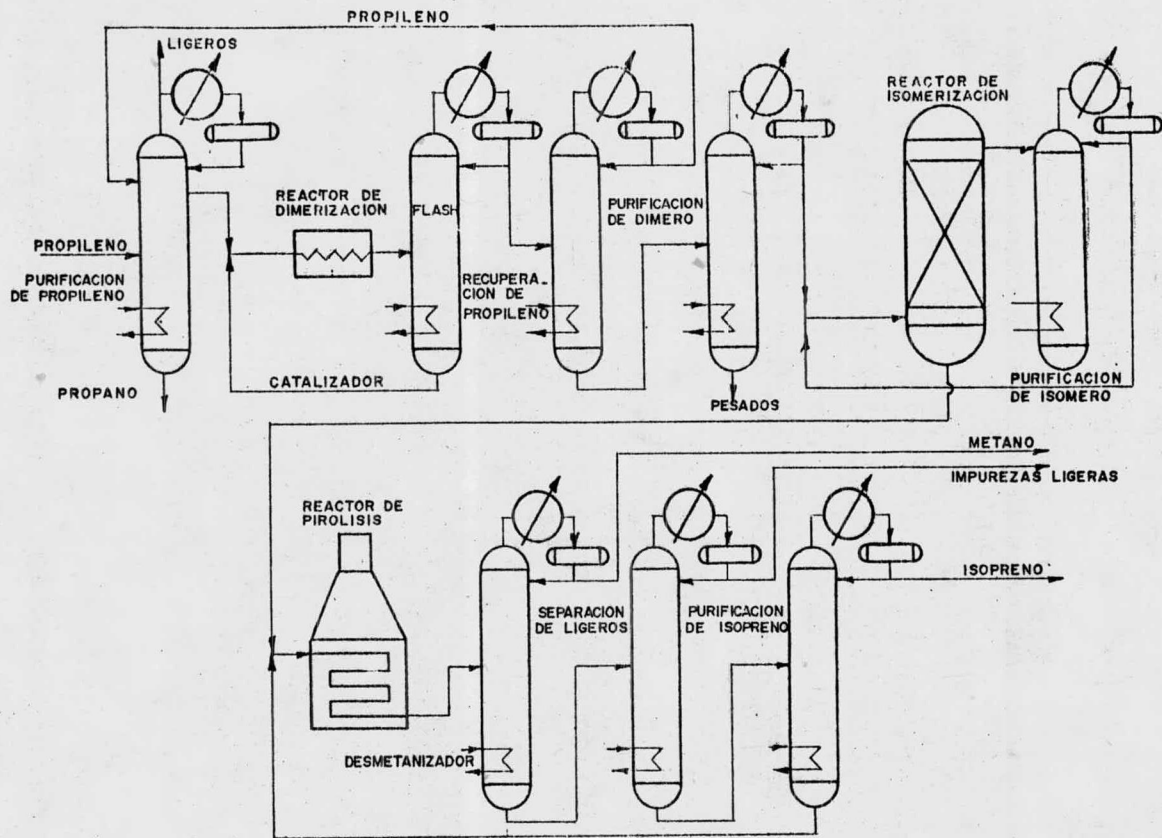


y finalmente:



En este paso del proceso se requiere equipo de transferencia de calor para controlar la temperatura de la reacción que es exotérmica. Las condiciones de reacción son: una presión de 204 atmósferas (3000 psig), una temperatura comprendida entre 150 y 250°C y un tiempo de residencia de 15 minutos. La selectividad alcanza de 90 a 95 % para una conversión por paso entre 60 y 95 %.-- Dada la alta reactividad del alquil aluminio con los compuestos polares y/o el oxígeno, es necesario usar un propileno de alta pureza.

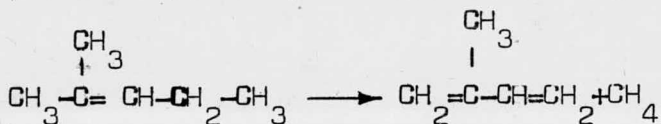
El efluente del reactor se flashea para recuperar por el fondo el catalizador, recirculándolo. El destilado está compuesto por 2-metil-1-penteno, propileno y los hidrocarburos ligeros que destilan.



(FIGURA 2)

El segundo paso del proceso corresponde a la isomerización del 2-metil-1-penteno a 2-metil-2-penteno - en presencia de un catalizador ácido como un lecho fijo - de sílica-alúmina, con el que se obtiene una conversión - de 99 %. Las temperaturas usualmente varían entre 150 y - 300°C. Posteriormente, por destilación se separa el - - 2-metil-1-penteno no transformado, el cual se recircula - en el proceso.

El paso final del proceso es la pirólisis del 2-metil-2-penteno, efectuándose la siguiente reacción:



Esta reacción se lleva a cabo en un horno de desintegración en presencia de ácido bromhídrico como catalizador y agua, a una temperatura de 650-800°C y un - - tiempo de residencia comprendido entre 0.05 y 0.3 segundos. El efluente se enfría para recuperar el catalizador y se demeteneza por destilación, eliminándolo junto con - los hidrocarburos ligeros. El isopreno crudo se destila - nuevamente para purificarlo obteniéndose como producto fi - nal isopreno de grado para polimerización (ref. 4,10,22).

Proceso Houdry

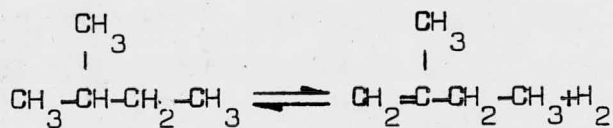
Los pentilenos ramificados se encuentran — — frecuentemente en las corrientes de proceso de las refinerías. El isopentano se encuentra en cantidades apreciables en los cortes C_5 de cracking catalítico y puede — producirse por isomerización catalítica del n-pentano.

La Houdry Process Corporation ha desarrollado un proceso para la producción de isopreno por medio de la deshidrogenación del isopentano y/o los pentilenos ramificados. La deshidrogenación en un solo paso se llevará a cabo usando un catalizador de óxidos de cromo y aluminio. En el proceso, tres reactores de lecho fijo se operan en una base cíclica de forma que el calor tomado por los reactantes en la deshidrogenación endotérmica, es recuperado por el sistema durante la regeneración del catalizador por combustión. La carga consiste de isopentano — fresco o isopentano conteniendo pentilenos, al que se — — agrega el recirculado obtenido en la sección de recuperación de isopreno. La corriente se calienta de $538^{\circ}C$ — — ($1000^{\circ}F$) a $621^{\circ}C$ ($1150^{\circ}F$) y se carga a los reactores 1, 2, — ó 3, en donde se mantiene a un vacío de 22 a 24 pulgadas de mercurio. A continuación la corriente de producto es enfriada por medio de una corriente de aceite y comprimida antes de pasar a la sección de recuperación.

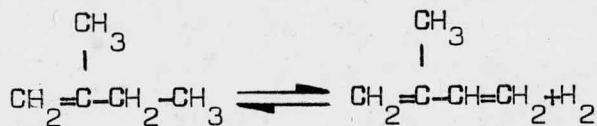
En esta sección, un sistema convencional de absorción, separación y debutanización recupera los compuestos C_5 , los cuales son alimentados a la sección de purificación de isopreno en la que se obtienen isopreno de más de 99% de pureza, 1,3-pentadieno y una mezcla de isopentano y pentilenos, que se recircula. Las selectividades esperadas en la producción comercial es de 51.3% molar a partir de isopentano y de 58.6% molar a partir de una fracción C_5 de gasolina obtenida por desintegración catalítica. Se ha evaluado también la producción simultánea de isopreno y butadieno, prediciéndose una selectividad de 61% molar para una carga de 25% en peso de isopentano y 75% en peso de n-butano, con lo que se puede observar la flexibilidad del proceso Houdry para la transformación de diversos productos (Ver fig. 3).

El isopreno puede separarse de los pentilenos ramificados que no reaccionaron por medio de una destilación extractiva con un solvente apropiado. Se ha hecho un estudio de la cinética de la deshidrogenación de los pentilenos ramificados usando un catalizador óxido a 530-580°C, en donde la adición de vapor ha reducido la presión parcial de los hidrocarburos, pero no ha afectado la velocidad de reacción. La adición de isopreno a la alimentación de pentilenos ramificados provocó la reducción del grado de conversión, lo cual ha sido atribuido a una adsorción preferencial del isopreno por el catalizador.

Debido a la demanda que el isopreno tiene en la fabricación de gasolinas a causa de su elevado octanaje, es una materia prima difícilmente accesible y costosa para su uso en procesos petroquímicos, siendo éste el motivo de que el proceso Houdry no ha hallado un adelanto notable en lo que se refiere a producción comercial. Las reacciones efectuadas son las siguientes:

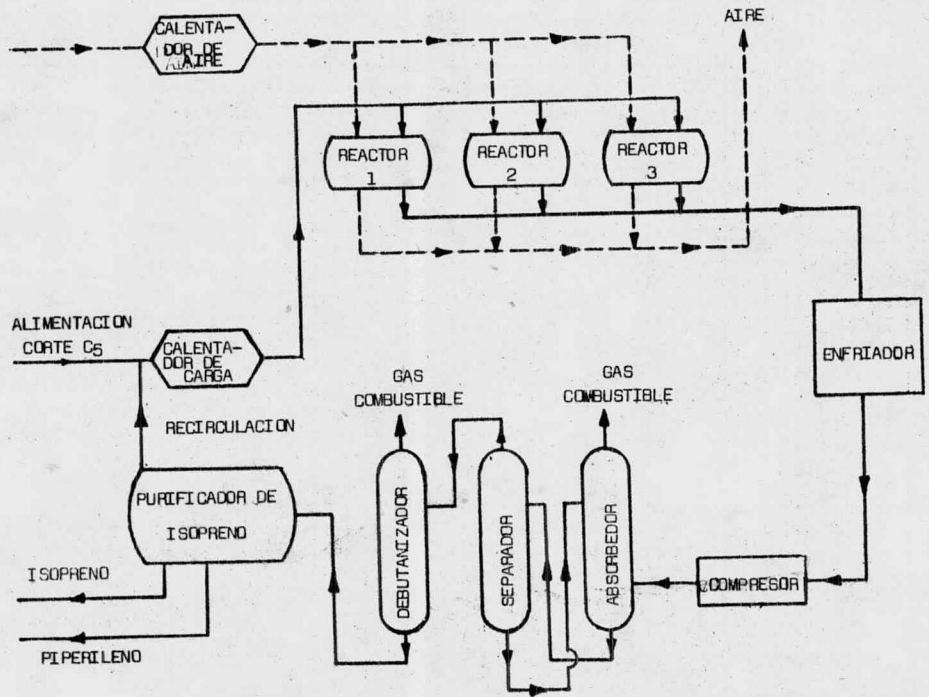


$$\Delta H^\circ_{298} = 29.5 \text{ kcal/mol (Para la mezcla de isómeros).}$$



$$\Delta H^\circ_{298} = 28.9 \text{ kcal/mol.}$$

(ref. 4,10,22).



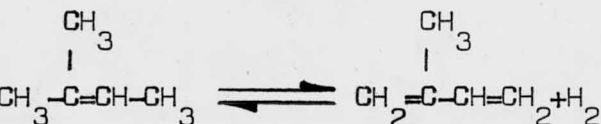
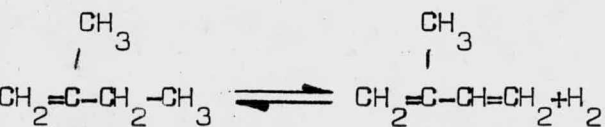
(FIGURA 3)

PROCESO HOUDRY

Proceso Shell

Este proceso consiste en la deshidrogenación de isoamilenos. La fracción de gasolinas ligeras del cracking catalítico contiene entre un 30 y 40 % de isoamilenos, el 2-metil-1-buteno y el 2-metil-2-buteno. Estos compuestos se pueden extraer por medio de una solución de ácido sulfúrico, obteniéndose una pureza de 95 a 99 %. Durante esta extracción se produce una isomerización de la doble ligadura que hace que la mezcla tenga una composición final aproximada de 90 % de 2-metil-2-buteno y 10 % de 2-metil-1-buteno.

La deshidrogenación de los isoamilenos para producir isopreno, se efectúa de acuerdo a las reacciones siguientes:



$$\Delta H^\circ_{298} = 28.9 \text{ kcal/mol.}$$

La operación anterior presenta similitud con la descomposición de buteno a butadieno realizada por -- Shell en fase vapor sobre un catalizador de óxidos de hierro y chromo y carbonato de potasio, aproximadamente a 600 °C.

El producto de la deshidrogenación se enfría por medio del aceite que absorbe los polímeros formados. -- A continuación se comprime el gas, separándolo por medio de una destilación extractiva con acetónitrilo acuoso, obtenniéndose el isopreno mediante una rectificación final.

Las composiciones del efluente C₅ de la ex--tracción y de la deshidrogenación (% en peso), son:

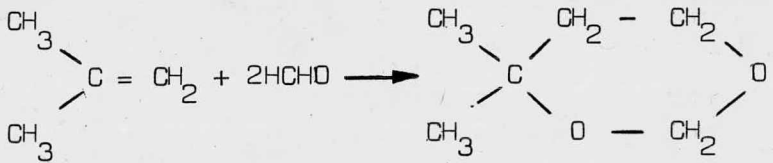
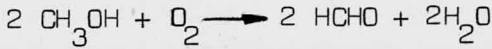
<u>Hidrocarburo</u>	<u>Efluente de la extracción al ácido sulfúrico.</u>	<u>Efluente de la deshidrogenación.</u>
C ₄	Trazas	0.9
Isopentano	0.3	0.2
n-pentano	0.2	0.1
1-penteno	0.2	0.1

3-metil-1-buteno	0.1	4.2
2-metil-1-buteno	8.7	23.9
2-metil-2-buteno	87.5	39.4
Isopreno	0.0	29.3
Trans-2-penteno	0.5	—
Cis-2-penteno	0.2	0.1
Piperileno Cis y Trans C ₆ +	2.4	1.5

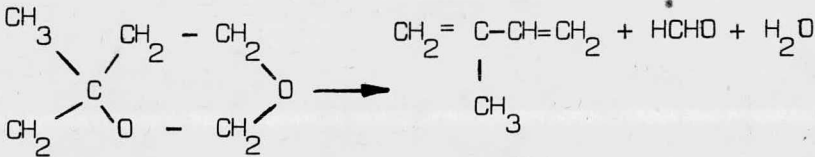
La compañía Shell ha propuesto la posibilidad de tratar simultáneamente butenos e isoamilenos para producir butadieno e isopreno. (ref. 4,10,22).

Proceso IFP.

Uno de los procesos más importantes para la producción de isopreno es el proceso basado en la reacción de isobutileno y formaldehído, proceso que ha sido extensamente evaluado por el Instituto Francés del Petróleo (IFP). Según este procedimiento la producción de isopreno es llevada a cabo en tres etapas, que se ilustran por las reacciones siguientes:



Isobutileno Formaldehído 4,4-dimetil-1,3-dioxano



4,4-dimetil-1,3-dioxano Isopreno Formaldehído

Dado que la dilución a que se somete el formaldehído comercial para su embarque y manejo seguros, es excesiva para que este producto pueda usarse en la operación normal de la etapa de reacción del proceso, es ventajoso preparar el formaldehído en la planta. El método usual consiste en la oxidación controlada del metanol.

La segunda etapa de la reacción isobutileno—formaldehído puede efectuarse usando una alimentación de hidrocarburos que contengan únicamente 20% de isobutileno, -

siendo este tipo de composición común en la mayoría de las fracciones C_4 de las refinerías de petróleo. Los hidrocarburos saturados de estas fracciones C_4 , no reaccionan con el formaldehído y los otros hidrocarburos no saturados -- reaccionan a una velocidad mucho menor que el isobutileno. Esta etapa se efectúa haciendo reaccionar una solución -- acuosa de formaldehído con la fracción C_4 en presencia de un catalizador ácido a $95^{\circ}C$ aproximadamente de temperatura y una presión de varias atmósferas. La capa de producto -- orgánico se neutraliza y las fracciones C_4 que no han reaccionado se flashean. El dimetil dioxano producido se prepara por destilación al vacío. La tercera etapa involucra -- la descomposición catalítica del dimetildioxano a presión-atmosférica y una temperatura menor de $400^{\circ}C$. Para esta -- etapa se ha desarrollado un sistema de lecho móvil de catalizador, ya que los catalizadores de lecho fijo exhiben -- una vida muy corta y los catalizadores de lecho fluido -- muestran un tiempo de desarrollo demasiado largo.

Durante el proceso se eliminan dos tipos de material orgánico residual, unos aceites claros ligeros de -- aspecto similar al etilenglicol. Para la aplicación industrial adecuada de este proceso es necesaria la recuperación y venta satisfactoria de estos subproductos (ref.4,10, 22).

Proceso Ruso

En la Unión Soviética se usa un proceso que es básicamente igual al del Instituto Francés del Petróleo, --

presentando únicamente las siguientes diferencias:

El reactor en la segunda etapa está formado — por una columna de extracción que utiliza ácido sulfúrico — muy diluido (1% aproximadamente).

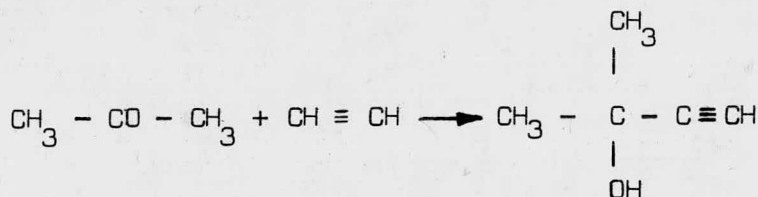
Las selectividades en 4,4-dimetil-1,3-dioxano — que presentan el isobutileno y el formol, son alrededor de 70 a 85% respectivamente para conversiones de un 90%.

En la tercera etapa, la operación se efectúa — en lecho fijo y el calentamiento es suministrado por vapor sobrecalentado, efectuándose la operación en ciclos. La selectividad para el isopreno del 4,4-dimetil-1,3-dioxano es de 85% aproximadamente siendo la conversión de 90%.

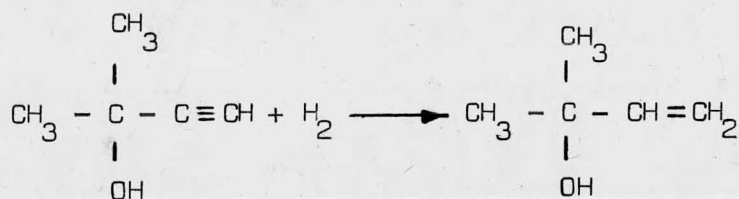
Proceso SNAM Progetti

La Società Nazionale Metanodotti (SNAM Progetti SpA) de Italia, subsidiaria de Ente Nazionale Idrocarburi (ENI) desarrolló un proceso basado en la acetona y el acetileno, el cual es particularmente importante para aquellas naciones en donde no son abundantes las materias primas derivadas de la refinación del petróleo, usadas en los procesos previamente mencionados.

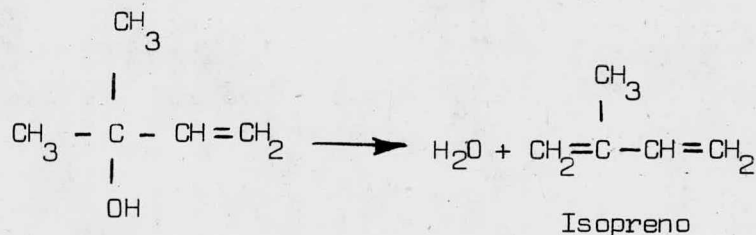
Las etapas del proceso son: Etilación, hidrogenación selectiva y deshidratación, cuyas reacciones se indican a continuación:



2 -metil-3-butin-2-ol.



2 -metil-3-buten-2-ol.

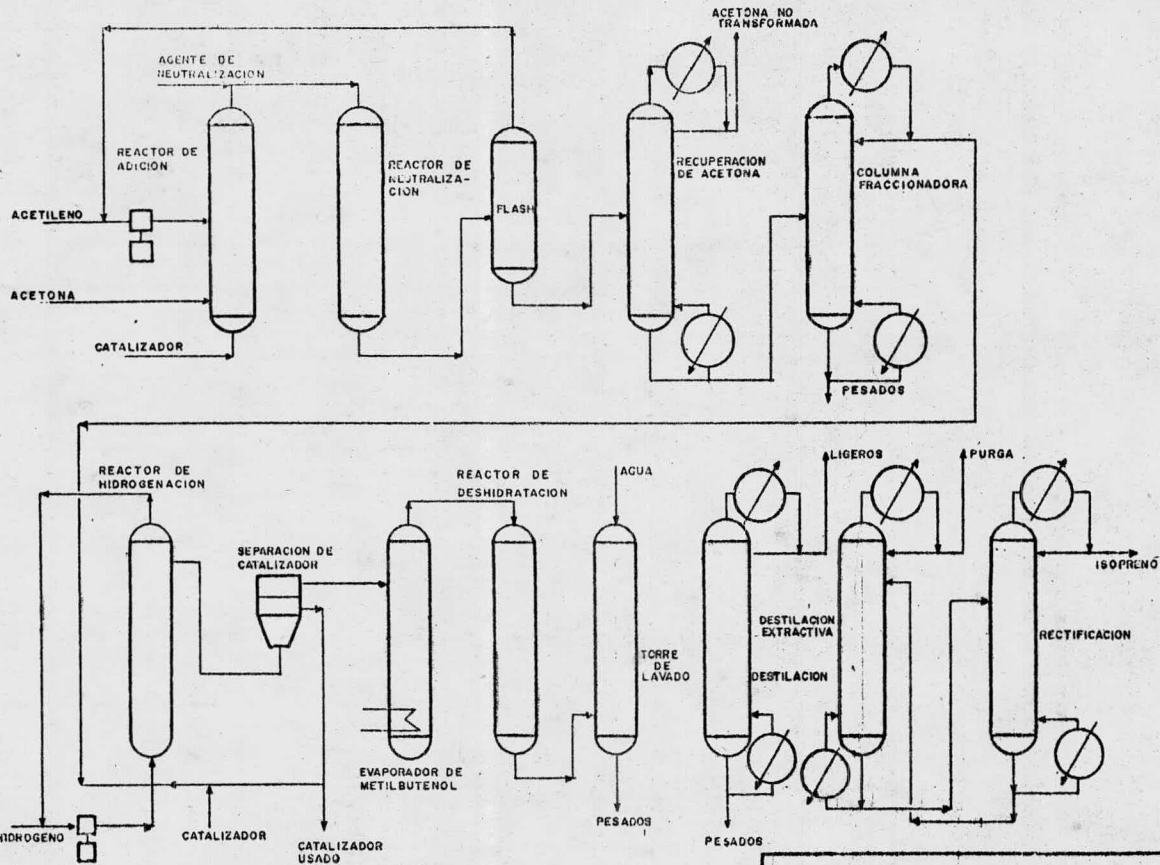


En la primera etapa la acetona reacciona con un exceso de acetileno en amoniaco líquido y en presencia de un catalizador, siendo potasa acuosa el catalizador más efectivo; la temperatura de reacción debe ser entre 10 y -40°C a una presión de 285 psi, dando rendimientos muy al-

tos y siendo irreversible. La reacción se termina al agregar un neutralizador para descomponer el catalizador, siguiendo con la reducción a presión atmosférica en un tanque apropiado desde donde se recirculan el amoníaco y el acetileno excedentes. La acetona que no reacciona se separa del metilbutinol en una columna de destilación, efectuándose posteriormente una segunda destilación en la que se destila una mezcla azeotrópica de metilbutinol con agua, quedando como residuo las sales de catalizador deactivadas y los productos pesados.

A continuación se efectúa el proceso de hidrogenación parcial el cual se lleva a cabo alimentando el azeótropo de metilbutinol a un recipiente con atmósfera de hidrógeno y en el que en presencia de un catalizador de paladio coloidal se ajustan la temperatura a 30-80°C y la presión a 70-140 psi, obteniéndose 2-metil-3-buten-2-ol. La selectividad durante este paso es de 99-99.5%. Una vez terminada la reacción, el catalizador se separa por centrifugación y se recircula al hidrogenador. El producto de la hidrogenación se vaporiza obteniéndose un azeótropo de metilbutinol y agua, el cual se deshidrata pasándolo sobre alúmina de alta pureza a 260-300°C y presión atmosférica.

Al isopreno resultante se le elimina el agua de saturación produciéndose un isopreno suficientemente puro para obtener, a partir de él, cis-1,4-poliisopreno de 96% de pureza, empleando como catalizadores alkil-aluminio y tetracloruro de titanio para la polimerización, (ver Fig. 4) (ref.4,10,22).



(FIG. 4)

SNAM PROGETTI

Otros Procesos.

Basadas en las técnicas mencionadas en los procesos anteriores otras empresas han desarrollado varios procesos. La British Hydrocarbon Chemical, el Japan Institute of Physical and Chemical Research y el Instituto Tecnológico de Tokio han obtenido el proceso acetona-acetileno en una sola etapa. Idemitsu Petrochemical, Sumimoto y algunas otras empresas, substituyen el metanol y oxígeno del proceso IFP por formal o emplean éter metílico. Otras empresas se han basado en el mismo proceso utilizando otros catalizadores.

Proceso Seleccionado.

Dada la importante demanda que el isopentano, los pentilenos ramificados y los isoamilenos tienen en la elaboración de gasolinas, y en base al incremento planeado en la producción de estos combustibles, los procesos Houdry y Shell no son apropiados para su implementación en el país.

El proceso Goodyear-Scientific Design emplea como materia prima fundamental el propileno, el cual se obtiene como subproducto de desintegración de gasolinas o productos más pesados para producir etileno; también se obtiene como subproducto en la desintegración de la nafta

para producir etileno, así como por deshidrogenación catalítica del propano. En México no se produce propileno por deshidrogenación y sólo hemos contado con el propileno que se produce en las desintegradoras catalíticas de las refinerías, en donde se recupera al producir gasolina. La producción de propileno en el país ha sido escasa y solo ha permitido el desarrollo limitado tanto en cantidad como en diversidad de los productos derivados del mismo. Por las razones expuestas el proceso Goodyear-Scientific Design no es adecuado a las condiciones actuales de la producción petroquímica básica, sin embargo Petróleos Mexicanos anuncia para 1980 la instalación de una planta localizada en Poza Rica Ver., para producir 300,000 toneladas anuales de propileno, las cuales aunadas a la producción de las plantas de desintegración catalítica, permitirán un desarrollo masivo de los derivados del propileno, lo que llevaría a revalorar la implementación de este proceso dentro de la planta química nacional.

Como se ha mencionado, los procesos basados en la reacción acetona-acetileno son principalmente aplicables a aquellos países con escasos recursos petroleros, con los cuales afortunadamente México cuenta.

En base a que las corrientes de cortes C_4 producidas en las diferentes plantas de desintegración catalítica de las refinerías del país son abundantes y accesibles para la producción de isopreno, el proceso IFP se pre

senta como el más apropiado para su aplicación en México.

d) Producción del cis-1,4-poliisopreno.

La producción del poliisopreno se efectúa mediante la polimerización del isopreno. Como se ha mencionado, la composición isomérica del producto final, depende de varios factores, siendo el más importante el sistema catalizador usado en la polimerización. Los catalizadores usados son estéreo-específicos, siendo los más usuales los sistemas alquil-litio del tipo Ziegler-Natta. El proceso en general es similar a la polimerización de todos los demás hules estéreo-específicos. Los catalizadores estéreo-específicos tienen la particularidad de regular la configuración cis/trans de un polímero para obtener un alto porcentaje de alguna de estas configuraciones. Este tipo de proceso se lleva a cabo en solución en un hidrocarburo parafínico-nafténico y empleando un iniciador del tipo alquil-litio.

El proceso consiste básicamente de purificación, polimerización, eliminación del solvente, secado de la pasta obtenida, empaque del hule sólido y recuperación del solvente (ref.4,10,22).

L) PLANTAS EXISTENTES EN EL MUNDO QUE EMPLEAN EL PROCESO SELECCIONADO.

Las plantas que emplean el proceso formal-iso-

butileno del IFP o la variante Soviética, son las siguientes:

LOCALIZACION	PLANTA	CAPACIDAD
Venezuela	Instituto Venezolano del Petróleo (Proyecto)	95,000 t/a.
Bulgaria	Complejo Petroquímico de Bourgas	60,000 t/a.
Francia	Compagnie de Polyisoprene Synthetique, S.A. (pro- yecto)	
Rumania	Complejo Petroquímico - de Borzesti	50,000 t/a.
U.R.S.S.	(Operación)	50,000 t/a.
	(Operación)	50,000 t/a.
	(Proyecto)	190,000 t/a.

C A P I T U L O I V

PROCESO DE FABRICACION

A) DESCRIPCION

B) CONSUMOS

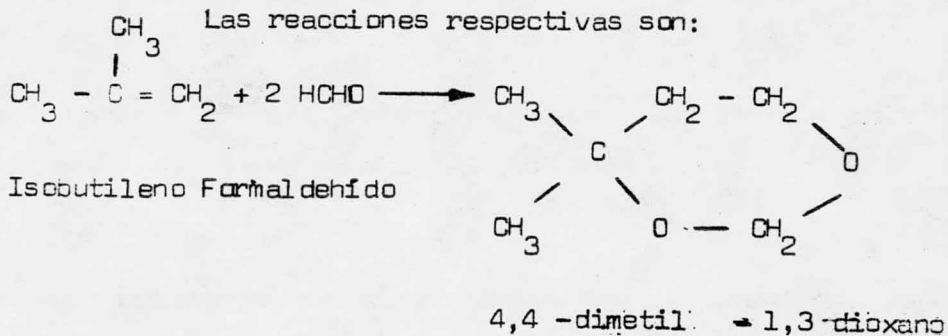
PROCESO DE FABRICACION.

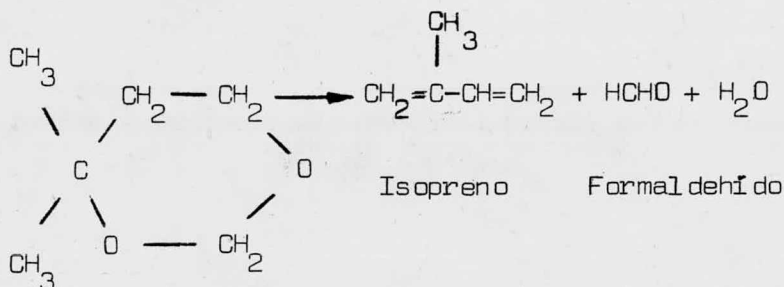
A) DESCRIPCION.

a) Elaboración de Isopreno.

Como ya se ha establecido, el proceso más adecuado a las condiciones existentes en el país es el proceso del Instituto Francés del Petróleo, que usa como materias primas isobutileno y formol.

A partir de un corte C_4 que contiene isobutileno, el proceso obtiene isopreno por medio de dos etapas básicas, correspondiendo la primera a una adición de formol (Reacción de Prins) y la segunda a un cracking catalítico del dioxano formado.





4,4-dimetil-1,3 dioxano

$$\Delta H^\circ_{298} = 30 \text{ Kcal/mol.}$$

En cada una de estas reacciones se forma un subproducto, compuesto principalmente por alcoholes complejos, llamándose dichos subproductos Residol I y Residol II. Estas mezclas, en particular la de la primera reacción (Residol I), pueden servir para la preparación de diversos tipos de resinas como las maléicas, las fenólicas y ciertos plastificantes.

En la primera etapa se mezclan en contracorriente y a través de una serie de reactores agitados, el corte C_4 y una fase acuosa que contiene ácido sulfúrico al 10% en peso y formol. La presión se mantiene a 10 atmósferas y la temperatura a 170°C aproximadamente. El isobutano produce el 4,4-dimetil-1,3-metadioxano, que en una reacción secundaria con el agua forma el alcohol terbutílico. Otras olefinas reaccionan lentamente para formar otros dioxanos, dependiendo la especificidad de la reacción del isobutadieno de la mezcla del corte C_4 , de las condiciones de operación, tales como temperatura, concentración, tiempo de reacción, etc. y del diseño

de los reactores. La selectividad del formol al isobutadieno es entre 80 y 90% a una conversión prácticamente total, para los cortes C_4 que contengan 40 a 70% de este último. En los casos en que el contenido de isobutadieno en el corte es de 20%, la conversión alcanza hasta el 90%.

La fase hidrocarburo que sale del reactor, se debutaniza y limpia por destilación de los productos pesados (Residol I). La relación butadieno-isobuteno de la carga debe ser inferior al 1%. La fase acuosa se reconcentra y purifica antes de recircularse.

Durante la segunda etapa, el alcohol terbutílico y los dioxanos se evaporan, sobrecalientan y crackean sobre un catalizador sólido formado por ácido fosfórico en un soporte, en presencia de vapor de agua a una atmósfera de presión y 250°C aproximadamente. Durante la reacción se suministra calentamiento al soporte del catalizador, operando éste como un lecho fluidizado. La selectividad del isopreno es de 80 a 90% con una conversión por paso de 60% aproximadamente. El 4,4-dimetil-1,3-dioxano produce isopreno, mientras que los dioxenos presentes se descomponen en isómeros del isopreno y el alcohol produce isobuteno. Un tren de separación permite la recirculación del 4,4-dimetil-1,3-dioxano.

En esta misma línea se separa el isobuteno, obteniéndose también isopreno dentro de las especificaciones

esperadas. La pureza del isopreno depende de la del dioxano, la que a su vez depende de la composición del corte C_4 .

El isopreno, obtenido tiene una pureza mínima de 98.5%, ver fig 5. (ref. 4,10,22).

b) Polimerización.

El proceso consta de las siguientes etapas:

- 1o) Purificación del solvente y del monómero.
- 2o) Polimerización del monómero en solución en reactores por carga, empleando un iniciador de alquil-litio.
- 3o) Formación de una pasta al eliminar el solvente y añadir vapor y agua en las proporciones adecuadas.
- 4o) Secado de la pasta para obtener el hule sólido, embalado y empacado.
- 5o) Recuperación y reutilización del solvente.

Como se ha establecido, las condiciones de reacción, la cantidad del iniciador y el uso de otros compuestos químicos permiten modificar el peso molecular promedio y/o inducir la formación de cruzamientos moleculares

que permiten diferentes viscosidades y características en el producto final.

La formación de la pasta se efectúa en forma - continua al añadir a la solución de hule el agua necesaria para mantener las partículas de hule en suspensión además del calor necesario para evaporar el solvente.

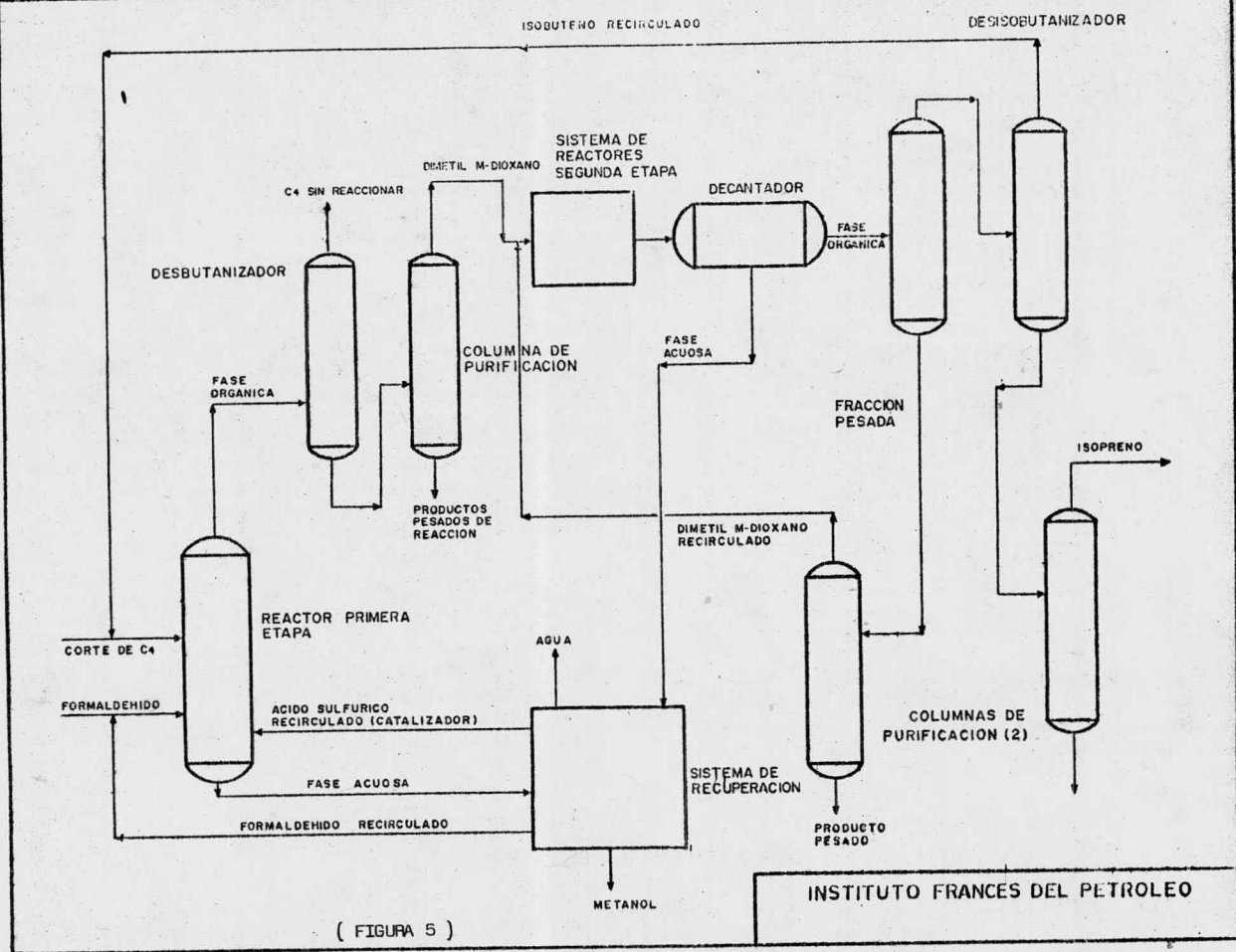
Este calor se suministra por medio de la inyección directa de vapor de agua. Por lo regular se agrega - una pequeña cantidad un detergente para facilitar la formación de la pasta y regular el tamaño de las partículas de hule.

El secado puede llevarse a cabo por medios me- cánicos empleando un extrusor de muy alta presión o por me- dio de temperatura y aire seco. Diversos licenciadores em- plean diferentes métodos de secado o combinaciones de los- mismos, ver Fig. 6 (ref.4,10,22).

B) CONSUMOS

En la figura 7 se da el insumo de materias primas, catalizadores y servicios en la planta de isopreno, - para los principales procesos mencionados.

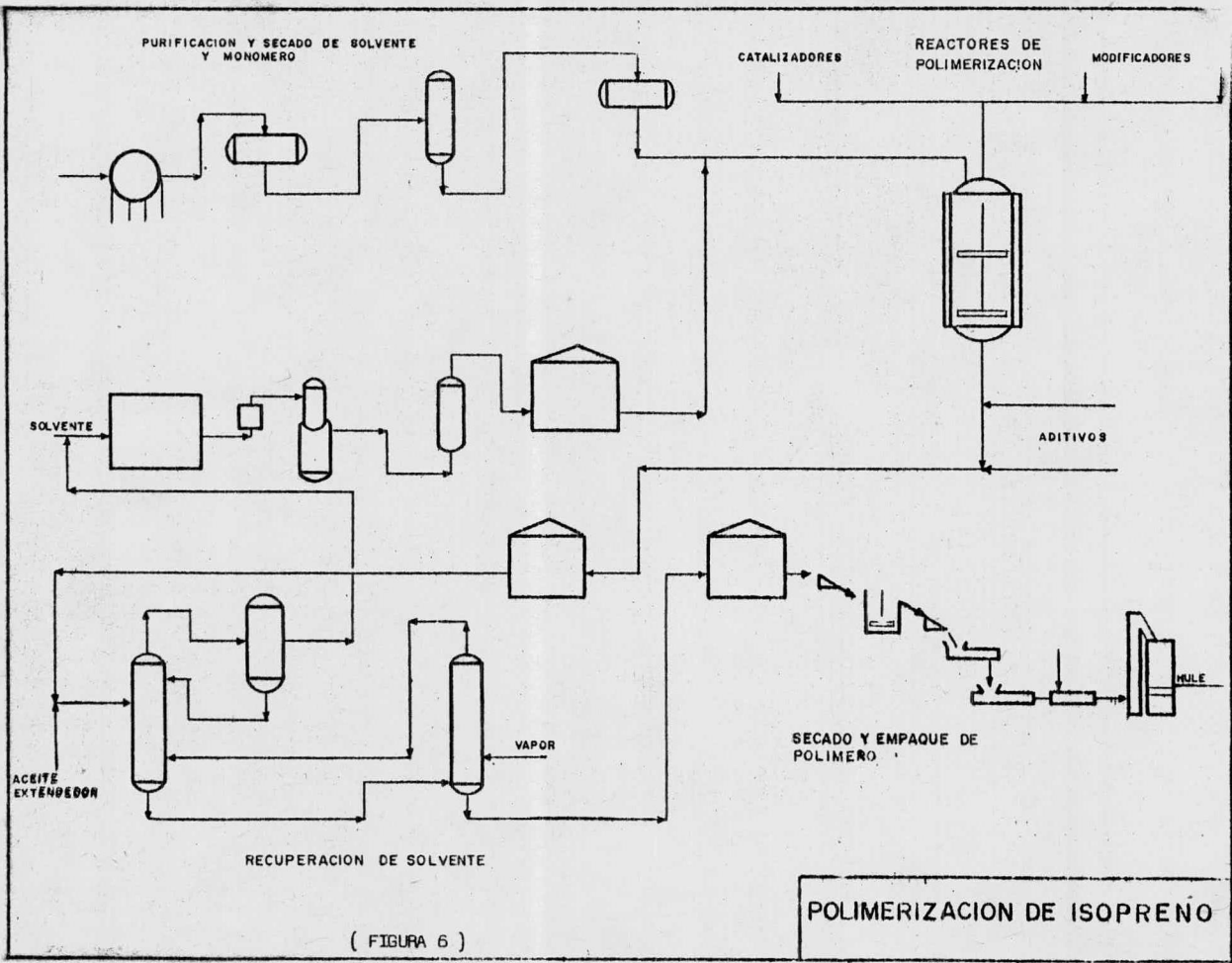
Los consumos por tonelada de producto corres--



(FIGURA 5)

pondientes a la planta de poliisopreno, son:

<u>MATERIA PRIMA</u>	CONSUMO TON/TON
Isopreno	1.0
Solvente	0.100
Iniciador	0.002
Antioxidante	0.015
Otros	Variable.
<u>SERVICIOS</u>	
Electricidad	410 KWH
Vapor	1.5 ton a 10 kg/cm ² de presión
Agua desmineralizada	1.0 m ³
Agua de enfriamiento	8.5 m ³
Otros	Variable



(FIGURA 6)

POLIMERIZACION DE ISOPREÑO

INSUMO EN LOS DIFERENTES PROCESOS DE ISOPRENO.

PROCESO	HOUDRY	SHELL	GOODYEAR	I.F.P.	SNAM
Capacidad Ton/Año	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000
Inversión (BL) 10 ⁶ MN	552	534	405	423	313
Insumos (Por tonelada)					
Materias Primas (Ton/Ton).					
Isopentano (al 95 %)	2,02	-	-	-	-
(1) Isoamileno (Corte C ₅)	-	1,38	-	-	-
Propileno	-	-	2,08	-	-
(2) Isobutileno (Corte C ₄)	-	-	-	1,13	-
Formal (55%)	-	-	-	1,64	-
Acetileno	-	-	-	-	0,97
Acetona	-	-	-	-	0,43
Catalizadores y Prods. Quím.					
Diversos (\$MN/TON)	386	276	644	276	359
Hidrógeno (Kg)	-	-	-	-	35
Amoníaco Líquido (Kg)	-	-	-	-	5
Servicios:					
Vapor (t)	8,4	5,0	9,5	12,5	14,0
Electricidad (KWH)	2,200	900	220	145	600
Agua de Enfriamiento (m ³)	825	840	450	340	510
Agua de Proceso (m ³)	-	12,5	-	4	-
Combustible (10 ⁶ kcal)	3,8	12,0	3,0	1,5	0,3
Refrigeración (10 ⁶ kcal)	-	-	-	0,5	-
Sub-Productos:	1,0	0,42	1,07	0,46	0,05
Similar en todos los casos:		10 operadores / Turno.			

(1) Corte C₅ de carga 3,72 (t), corte C₅ residual 2,34 (t)

(2) Corte C₄ de carga 2,40 (t) al 55% Isobutileno; corte C₄ residual 1,27 (t)
al 5 % Isobutileno.

(ref. 24)

Figura No. 7

C A P I T U L O V

LOCALIZACION DE LA PLANTA.

A) FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA
LA LOCALIZACION DE UNA PLANTA.

B) LOCALIZACION.

LOCALIZACION DE LA PLANTA

A) FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA
LA LOCALIZACION DE UNA PLANTA.

La localización geográfica de una planta puede tener una influencia definitiva en el éxito de una empresa industrial. Se debe tener mucho cuidado durante la elección del sitio adecuado y se deben tomar en consideración múltiples factores. Fundamentalmente, la planta debe estar localizada en donde se puedan obtener costos mínimos de producción y distribución, sin embargo, otros factores como espacio para expansión y condiciones generales de vida, son importantes también.

La selección del sitio final debe estar basada en una investigación completa de las ventajas y desventajas de las varias áreas geográficas y en última instancia, de las ventajas y desventajas del terreno disponible. Los siguientes factores deben tomarse en cuenta en la selección de la localización de la planta (ref.14,17,27):

1. Materias primas.
2. Mercados.
3. Energía y combustibles.

4. Condiciones meteorológicas.
5. Servicios de transporte.
6. Suministro de agua.
7. Eliminación de desechos.
8. Mano de obra.
9. Impuestos y restricciones legales.
10. Características del sitio.
11. Protección contra inundación y fuego.
12. Factores de la comunidad.

Los factores que deben ser evaluados en una estudio del localización para una planta requieren una vasta información tanto cualitativa como cuantitativa (estadística). Esta información debe obtenerse a partir de fuentes - de información tanto públicas como privadas.

A continuación se analizan brevemente los factores antes enumerados.

Materias primas.

La fuente de aprovisionamiento de materias primas es uno de los factores de más importancia en la evaluación de la localización de una planta. Este factor cobra una importancia capital en los casos en los que se consu--men altos volúmenes de materias primas, ya que en estas --condiciones los costos de transporte y almacenamiento son--altos. En relación con las materias primas es indispensa--ble considerar su precio de compra, la distancia a la fuente de abastecimiento, los costos de flete y transporte, la confiabilidad de su suministro, su pureza y los requeri--mientos de almacenamiento. El análisis de alternativas es indispensable para llegar a una conclusión adecuada.

Mercados.

La localización de mercados o de centros inter--medios de distribución, afecta el costo de distribución y--el tiempo de entrega. La proximidad a los mercados impor--tantes es una consideración fundamental en la localización de una planta, ya que el comprador encuentra normalmente --ventajoso el comprar de fuentes próximas de aprovisiona--miento. En los casos en que se obtienen subproductos comer--cialmente valiosos, es necesario considerar también el mer--cado respectivo.

Energía y combustible.

En la mayoría de las plantas industriales, -- los consumos de energía y vapor son altos, requiriéndose frecuentemente combustible para la obtención de estos ser vicios. En consecuencia, la energía y el combustible pue den combinarse para formar uno de los factores principa les en la selección de la localización de una planta. -- Existen procesos, como los electrolíticos que requieren -- fuentes de electricidad económicas, por lo que este tipo de factorías se sitúan en las proximidades de las plantas generadoras de corriente eléctrica. En los casos en que la producción requiera grandes cantidades de carbón o -- aceite combustible, la localización próxima a una fuente de aprovisionamiento de dichos energéticos será esencial para una operación económica de la planta. El costo y -- consumo de energía determinarán si ésta debe comprarse o -- autogenerarse.

En México la energía eléctrica es suministrada por la Comisión Federal de Electricidad, siendo neces ario considerar también la instalación de una planta de -- emergencia. Para los sitios preseleccionados, debe ana lizarse detalladamente el costo de los combustibles, exis tiendo en algunas comunidades redes de gas natural, el -- cual es bastante económico.

Condiciones meteorológicas.

La selección del clima de la zona en que se colocará la planta es de suma importancia, ya que las condiciones meteorológicas contribuirán a la operación económica y adecuada de ella. Si la planta se localiza en un clima frío, los costos se pueden incrementar debido a la necesidad de construir resguardos alrededor del equipo de proceso para su protección contra las bajas temperaturas y - por el contrario, en los sitios en los que la temperatura-prevaliente sea alta, se hará necesaria la construcción de torres de enfriamiento y equipos de acondicionamiento de aire especiales.

La excesiva humedad o las temperaturas extremas pueden tener un efecto sumamente serio en la operación económica de una planta, por lo que estos factores deben ser examinados durante la selección de la localización de la planta.

Para estudiar las condiciones meteorológicas de una comunidad determinada, se deben analizar los datos existentes de varios años atrás. Durante este examen se debe dar especial atención a huracanes, temblores o inundaciones, ya que estas catástrofes incrementan grandemente el costo de construcción.

Como consideración general se recomiendan climas templados, los cuales abaratan la construcción y mejoran la eficiencia de los trabajadores.

Servicios de transporte.

Los medios comunes de transporte usados con fines industriales son el ferrocarril, el transporte por carretera y la transportación por agua. La cantidad y clase de productos y materias primas determinan el tipo más apropiado de transporte. En todo caso, se debe dar una atención cuidadosa a los fletes y a las líneas de ferrocarril-existentes en una zona determinada.

Una consideración importante que se debe hacer, es la proximidad a los centros ferroviarios y la posibilidad de transporte fluvial o marítimo. El transporte en camión es ampliamente usado y sirve como suplemento a los servicios de transporte ferroviario o náutico. De ser posible, la planta debe tener accesos a los tres tipos de transportación o cuando menos a dos de ellos. Usualmente es necesario que exista una buena comunicación por aire y por ferrocarril entre la matriz de una empresa y sus filiales, así como un servicio efectivo de transporte para los trabajadores.

Las facilidades y velocidad de transporte pue-

den ser un factor controlante para la localización de una planta. Por ejemplo, ciertas industrias deben considerar - que sus envíos serán pequeños, para distintos compradores - y en lugares diferentes. Otra consideración importante es en aquellos casos en que los envíos no corresponden a la - "capacidad de transporte máxima"; siendo, para este caso, - los precios de flete más elevados.

En cada caso, debe hacerse una evaluación detallada de las redes de ferrocarril, ya que la transferencia del producto de un tren a otro, cuesta dinero. Es - - bien sabido que aunque en México el transporte por ferrocarril es bastante económico, la eficiencia de éste, deja - que desear, tanto en el tiempo de entrega, como en la red - que cubren.

El transporte por agua es y probablemente será más barato, especialmente en grandes cantidades; definitivamente, debe considerarse una gran ventaja para una planta el poder situarse en un lugar adyacente a agua navegable.

Como medios adicionales de transporte se pueden considerar las líneas aéreas, el correo, el transporte en pipas, los cuales varían en importancia dependiendo de la planta en cuestión.

Suministro de agua.

Las industrias de proceso usan grandes cantidades de agua para enfriamiento, lavado, generación de vapor y como materia prima. La planta, por tanto deberá estar colocada en un lugar donde exista un suministro confiable de agua. Para ésto es preferible un gran río o lago, aunque los pozos profundos o artesianos pueden ser satisfactorios si el consumo de agua no es excesivo. El nivel freático del agua se puede checar consultando el perfil geológico del estado y la información sobre la constancia de dicho nivel; también se puede checar la capacidad anual de los ríos y lagos locales. Si el suministro de agua muestra fluctuaciones estacionales puede ser ventajoso construir un almacenamiento o perforar pozos de reserva. En la valoración de un suministro de agua deben también verificarse la temperatura, contenido de minerales, contenido de arena y limos, contenido bacteriológico así como el costo de suministro y tratamiento de purificación.

El estudio debe ser completado por expertos en aguas, incluyendo geólogos e ingenieros químicos especializados en problemas de agua.

Eliminación de desechos

En años recientes muchas restricciones legales se han incluido en los métodos para la eliminación de los-

materiales de desecho provenientes de las industrias de proceso. El sitio seleccionado para una planta debe tener capacidad y servicios adecuados para una eliminación de desechos correcta. Aún en el caso de que un área dada no tenga restricciones respecto a la contaminación, no se deberá suponer que esta condición subsistirá. La eliminación de desechos puede efectuarse por dispersión en agua, aire o tierra. Al escoger una localización de planta, los niveles de tolerancia permisibles para los diversos métodos de eliminación de desechos deberán considerarse y será necesario prestar atención a los requerimientos potenciales de instalaciones para tratamiento de desechos.

Mano de Obra.

El tipo de suministro de mano de obra disponible en la vecindad de la localización propuesta para una planta, necesariamente se ha de examinar. Se debe dar una consideración particular a los tabuladores de salario existentes, a las restricciones en el número de horas trabajadas por semana, a las industrias competidoras que pueden causar insatisfacción o alta rotación entre los trabajadores y a las variaciones en la habilidad o inteligencia del personal disponible.

El costo de la mano de obra representa en la mayor parte de los productos un porcentaje considerable. Los hombres de mantenimiento representan una parte funda-

mental en el proceso de la planta. Por las razones anteriores la valoración efectiva de la mano de obra disponible es uno de los análisis indispensable en la determinación de la localización de cualquier planta.

Impuestos y restricciones legales.

Los impuestos federal y local sobre la propiedad, el ingreso y tópicos similares, varían de una localización a otra. Así mismo las regulaciones locales en la división por zonas, en las normas de construcción, en los aspectos de ruido y en los servicios de transporte, pueden tener una influencia primordial en la selección final de la localización de una planta. De hecho, las dificultades de zonificación pueden ser en ocasiones más importantes en términos de costo y de demora de tiempo, que muchos de los factores discutidos en los incisos precedentes.

En nuestro país el conjunto de incentivos fiscales establecidos con los objetos de industrializar los polos de menor desarrollo económico del país y descentralizar la producción industrial, presentan perspectivas promisorias para la instalación de nuevas industrias en zonas de bajo desarrollo industrial.

Características del sitio.

Las características del terreno en una localización propuesta para una planta industrial, deben de examinarse cuidadosamente. La topografía del terreno y la estructura del suelo deben considerarse puesto que ellas pueden tener un efecto pronunciado en los costos de construcción.

Los costos del terreno y de construcción así como las condiciones de vida, son importantes. Los cambios futuros pueden hacer necesaria la expansión de las instalaciones, por lo que, aunque no se planeen expansiones inmediatas, la construcción de una nueva planta deberá efectuarse en aquellos lugares en donde exista un espacio adicional disponible.

Protección contra inundación y fuego.

Muchas plantas industriales se localizan junto a los ríos o cerca de grandes masas de agua, con lo que habrá riesgos de inundación o daño por huracanes. Antes de seleccionar la localización de una planta, la historia regional de eventos naturales de éste tipo deberá ser examinada así como las consecuencias de dichos acontecimientos. La protección contra pérdidas causadas por fuego es otro factor importante en la selección de la localización para una planta industrial. En caso de incendios grandes, debe

disponerse de ayuda de departamentos de bomberos exteriores a la planta. Tampoco se deberán subestimar los riesgos de fuego en las áreas aledañas a la planta.

Factores de la comunidad.

En la selección de la localización de una planta, uno de los factores de importancia es el conjunto de las características y servicios públicos de la localidad donde se pretenda instalar. En el caso de que no exista un mínimo de facilidades para proporcionar una vida satisfactoria al personal de la planta, frecuentemente el subsidio de dichas facilidades se convierte en una carga para la planta. Las facilidades culturales existentes en la comunidad, son fundamentales para un crecimiento firme de ella. Las iglesias, bibliotecas, escuelas, teatros cívicos, asociaciones musicales y otros grupos similares, si trabajan activa o dinámicamente, contribuyen en alto grado para que una comunidad sea progresista. El problema de la recreación merece una consideración especial. Otro aspecto que debe ser evaluado es la eficiencia, carácter e historia de los gobiernos local y estatal; la existencia de impuestos bajos, no es en sí una situación favorable, a menos que la comunidad esté bien desarrollada y libre de deudas (ref.14,17,18,26,27).

B) LOCALIZACION DE LA PLANTA.

La localización más adecuada para la planta de isopreno es junto a una refinería que tenga crackeo catali

tico y disponibilidad de una corriente importante de C_4 .

En las plantas para producir isopreno que emplean el proceso del I.F.P., se toma corriente de corte C_4 empleando aproximadamente la mitad y regresando el resto a la refinería para su procesamiento; en las condiciones mencionadas, únicamente las refinerías de Salamanca y Minatitlán pueden proporcionar las corrientes necesarias y recibir el resto de los C_4 , para procesarlos.

Como se ha discutido el mercado de consumo de cis-1,4-poliisopreno se encuentra en el centro de la república, por lo que sería muy conveniente localizar la planta de polimerización en esta zona.

En el caso de Petróleos Mexicanos accediera a suministrar la corriente de C_4 en la planta de Salamanca, es obvio, que esta sería la localización más lógica ya que se minimizarían en general los costos de fletes y el aprovechamiento de la inversión se maximizaría.

En el caso de que Petróleos Mexicanos decidiera el suministro de la corriente de C_4 de la refinería de Minatitlán, es probable que sería conveniente instalar la planta de isopreno en Minatitlán y la planta de polimerización, bien en Minatitlán o bien en el centro de la república o en una localización intermedia.

1a. Alternativa.- Salamanca, Gto.

La refinera de Salamanca además de contar con una corriente apropiada de C_4 que permitiría la producción de isopreno, actualmente aprovisiona a la industria hulera con los aceites extendedores necesarios.

Otra ventaja del municipio de Salamanca es que en él se encuentra la planta de Negromex, por lo que en esta localización se podría fabricar el masterbatch en el que se incluyese el negro de humo requerido para el refuerzo de la llanta y los aceites extendedores correspondientes. Esta localización permitiría surtir a los clientes directamente desde la planta sin la necesidad de un almacén intermedio de distribución.

La ciudad de Salamanca cuenta con mano de obra calificada, con los servicios adecuados de ferrocarriles, carreteras, corriente eléctrica, transportes urbanos, etc. y para los efectos fiscales se encuentra localizada en la zona 3.

2a. Alternativa.- Minatitlán, Ver.

La refinera de Minatitlán cuenta con todos los servicios requeridos y la materia prima necesaria para la elaboración del poliisopreno.

Bajo el punto de vista fiscal tiene la ventaja de estar localizada en la zona del Istmo que cuenta con incentivos fiscales especiales, sin embargo, en ésta localización se presenta ya una cierta escasez de mano de obra, -teniéndose como desventaja adicional la distancia hacia las plantas consumidoras del producto terminado.

3a. Alternativa.- Otras localizaciones.

Como alternativa adicional puede pensarse en -instalar la planta de isopreno en Minatitlán transportando el isopreno hasta el centro de la república y construir la planta de polimerización el algún sitio de esta zona. Esta solución parece plantear mayores problemas que las anteriores y costos de instalación mayores.

C A P I T U L O VI

EVALUACION ECONOMICA

- A) INVERSION DE CAPITAL.
- B) COSTO DEL PRODUCTO.
- C) ANALISIS ECONOMICO.

EVALUACION ECONOMICA

A continuación se mencionan los elementos principales que se consideran para el estudio de factibilidad económica.

Debido a la situación inflacionaria que prevalece, es necesario tener presente que la evaluación depende fundamentalmente de la estabilidad de los precios, tanto de las materias primas, como del equipo y el costo de los otros factores incluidos, por lo que estos precios deberán considerarse estáticos de forma que se permita consolidar el análisis de resultados.

A) INVERSION DE CAPITAL.

Según los resultados del estudio de mercado y en la proyección del consumo y producción, se ha obtenido una capacidad para ambas plantas de 70,000 toneladas anuales, que son suficientes para cubrir los faltantes esperados hasta el año de 1984.

Si se estima que la planta está terminada para 1980, para esta fecha se proyecta un déficit nacional de 45,000 toneladas por año que permitirá a las plantas trabajar a un 60% de su capacidad nominal.

Los datos obtenidos en este estudio muestran que las inversiones necesarias dentro de los límites de batería son, para la planta de isopreno \$592,000,000 y para la planta de polimerización \$350,000,000. En base a estos valores se calculará la inversión fija para cada planta por separado.

I) Inversión de capital necesaria para la planta de isopreno.

1) Costo directo de la planta de isopreno.

a) Inversión necesaria dentro de límites de batería - - - - \$592,000,000 (Equipo, instrumentación, tubería, equipo y material eléctrico, aislamiento térmico, pintura e instalación general).

b) Edificios (3,000 m² de construcción). \$ 4,500,000

c) Servicios auxiliares, almacenamiento de materia prima y mejoras del terreno (13% de a). \$ 77,000,000

d) Terreno (5 has.). \$ 3,000,000

Costo directo de la planta de isopreno (1) \$ 676,500,000

2) Costo indirecto de la planta de isopreno.

a) Ingeniería y supervisión (5% de (1)).	\$ 34,000,000
b) Gastos de construcción y honorarios del contratista (7% de (1)).	\$ 47,000,000
c) Contingencias (5% de (3)).	<u>\$ 40,000,000</u>
Costo indirecto de la planta de isopreno (ref.15,16,19)	\$ 121,000,000
3) Inversión fija de la planta de isopreno (1 + 2).	\$ 797,500,000
4) Capital de trabajo (ref. 1,20,25).	

a) Inventario de materias primas.

Productos de importación: 2 meses.

Productos nacionales: 1 mes.

Isobutileno (Corte C₄).

La determinación de un precio para este corte no es posible, considerándose para fines de este estudio un valor de ----- \$1,700,00 la tonelada, el cual es superior al valor actual que tiene, ya que este corte se emplea para la elaboración de gases líquidos. El valor de 1 mes de inventario de isobutilenos en corte C₄ será de:

$$\text{Isobutileno (Corte C}_4\text{)} = \frac{1.13 \times 70,000 \times 1,700}{12} = 11,206,000$$

Formol.-

El precio actual del formol en el mercado nacional es muy alto pues existen muchas pequeñas plantas elaboradoras de este producto, por lo que debe pensarse en producir dentro de la planta el formol necesario, utilizando el metanol como materia prima.

El precio actual del metanol es de \$3,79 kg por lo que el costo del formol elaborado en la planta sería de 3.31 kg. de solución al 55% y por lo tanto se requerirían \$5,428.00 de formol por tonelada de isopreno producido.

$$\text{Formol} = \frac{5,428\$/\text{ton} \times 70,000 \text{ ton/año}}{12 \text{ meses/año}} = \$31,700,000$$

Catalizadores y productos químicos.-

En base a la información existente se ha considerado un valor de \$276.00 por tonelada de isopreno producido.

$$\begin{aligned} &\text{Catalizadores y Prods. Quím.} = \\ &\frac{276\$/\text{ton} \times 70,000 \text{ ton/año} \times 2}{12 \text{ meses/año}} = \$3,220,000 \end{aligned}$$

Valor total del inventario de materias primas para 70,000 - ton/año de capacidad (planta de isopreno) \$46,126,000. En la gráfica No. 4 se muestran las necesidades de inventario de materias primas a diferentes capacidades:

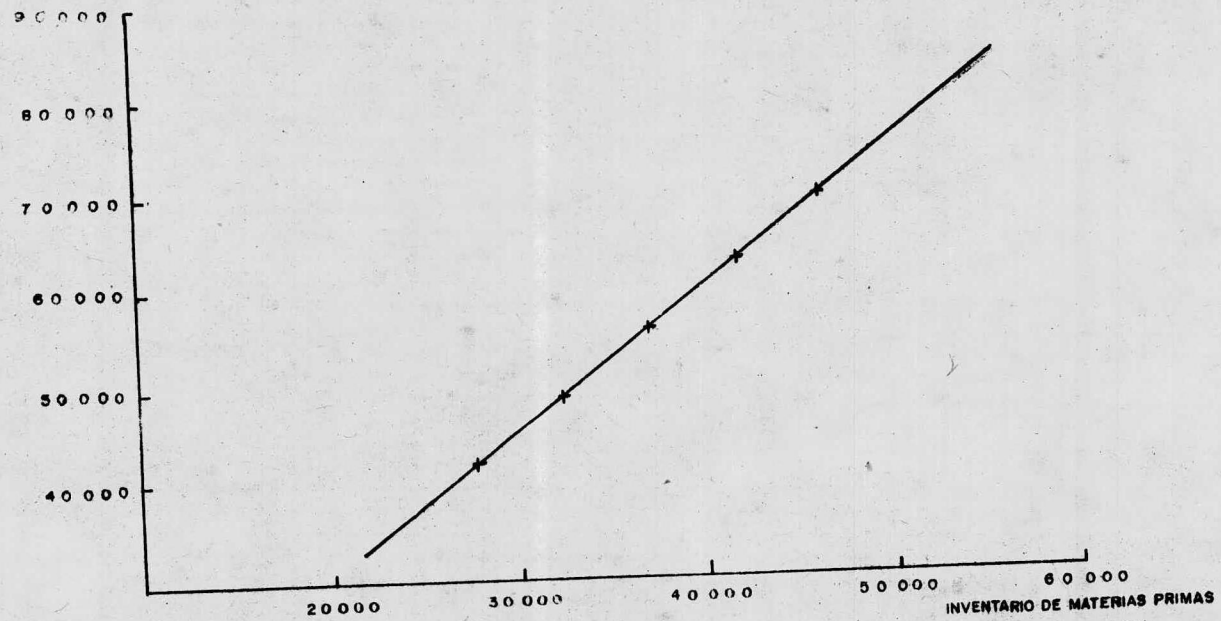
Capacidad (ton/año)	Inventario de materias primas (\$)
42,000	27,675,600
49,000	32,288,200
56,000	36,900,800
63,000	41,513,400
70,000	46,126,000

b) Inventario de producto terminado.

Medio mes al costo del producto incluyendo la depreciación.

Capacidad (ton/año)	Inventario de isopreno (\$)
42,000	21,812,700
49,000	23,713,100
56,000	25,613,500
63,000	27,513,700
70,000	29,414,000

PRODUCCION
(TON/AÑO)



VALORES DE INVENTARIOS DE MATERIAS PRIMAS CONTRA CAPACIDAD.
PLANTA DE ISOPRENO.

GRAFICA NO. 4

18

c) Cuentas por Cobrar.

Un mes al precio de transferencia del isopreno que en base al análisis de rentabilidad de esta planta, resulta de — \$16.50 por kilogramo de isopreno.

$$\text{Cuentas por cobrar} = \frac{70,000 \text{ ton/año} \times 16,500 \text{ \$/ton}}{12 \text{ meses/año}} =$$

$$\$96,250,000$$

Los valores correspondientes a diversas capacidades son:

Capacidad (ton/año)	Cuentas por cobrar (\$)
42,000	57,750,000
49,000	67,375,000
56,000	77,000,000
63,000	86,625,000
70,000	96,250,000

d) Caja y bancos (Efectivo).

1% sobre valor de producto transferido anualmente a la planta de polimerización.

$$\text{Efectivo} = \frac{70,000 \text{ ton/año} \times 16,500 \text{ \$/ton} \times 1}{100} = \$11,550,000$$

El capital de trabajo correspondiente a las capacidades indicadas, será:

Capacidad (ton/año)	Capital de trabajo, Planta de isopreno(\$)
42,000	114,168,300
49,000	131,461,300
56,000	148,754,300
63,000	166,047,100
70,000	183,340,000

5) Inversión total.

A las capacidades analizadas anteriormente, las inversiones totales correspondientes, son:

Capacidad (ton/año)	Inversión total, Planta de isopreno(\$)
42,000	911,668,300
49,000	928,961,300
56,000	946,254,300
63,000	963,547,100
70,000	980,840,000

II) Inversión de capital necesario para la planta de poliisopreno.

1') Costo directo de la planta de polimerización.

a) Inversión necesaria dentro de límites de batería. \$350,000,000

(Equipo, instrumentación, tubería, equipo y material eléctrico, aislamiento, pintura e instalación general)

b) Edificios (3,000 m² de construcción). \$ 4,500,000

c) Servicios auxiliares, almacenamiento de materia prima y mejoras de terreno (13% de a). \$ 45,500,000

d) Terreno (5 has.). \$ 3,000,000

Costo directo de la planta de poliisopreno (1). \$ 403,000,000

2') Costo indirecto de la planta de poliisopreno.

a) Ingeniería y supervisión (5% de (1')). \$ 20,150,000

b) Gastos de construcción y honorarios del contratista (7% de (1')). \$ 28,210,000

c) Contingencias (5% de (3')). \$ 23,755,000

Costo indirecto de la planta de poliisopreno (ref. 15,16,19)

\$ 72,115,000

3') Inversión fija de planta de poliisopreno \$475,115,000

(1' + 2').

4') Capital de trabajo (ref. 1,20,25).

a) Inventario de materias primas.

Productos de importación: 2 meses

Productos nacionales: 1/2 mes.

Isopreno.-

Basándose en el precio de transferencia del isopreno de \$16.50 por kilogramo, el valor del inventario es:

$$\text{Isopreno} = \frac{70,000 \times 1.0 \times 0.5 \times 16,500}{12} = \$48,125,000$$

Solvente (Ciclohexano PEMEX).-

El costo de este producto es de \$6.96 por kilogramo L.A.B. destino, por lo que el valor de este inventario será:

$$\text{Ciclohexano} = \frac{70,000 \times 0.1 \times 6,960 \times 0.5}{12} = \$2,030,000$$

Iniciador.-

Los iniciadores para este proceso, como se ha establecido, son compuestos de alquil-litio cuyo valor se estima en - - - \$250.00 por kilogramo. Puesto que estos compuestos son de importación, su inventario valdrá:

$$\text{Iniciador} = \frac{70,000 \times 0.002 \times 250,000 \times 2}{12} = \$5,833,300$$

Antioxidante.-

Para el proceso se usa el 4-ter-butyl catecol cuyo precio unitario es de \$125.00 kilogramo, siendo un producto de importación.

$$\text{Antioxidante} = \frac{70,000 \times 0.015 \times 125,000 \times 2}{12} = \$21,875,000$$

Otros compuestos.-

Se usan en cantidades variables y en base a la información existente se estima en \$40.00 por tonelada de poliisopreno producida. El costo de este inventario será:

$$\text{Otros compuestos} = \frac{70,000 \text{ ton/año} \times 40 \text{ \$/ton} \times 2}{12 \text{ meses/año}} = \$466,600$$

Valor total de inventario de materias primas para 70,000 ton.de capacidad (Planta de poliisopreno). \$78,329,900

En la gráfica No. 5 se muestran las necesidades de inventario de materias primas a diferentes capacidades:

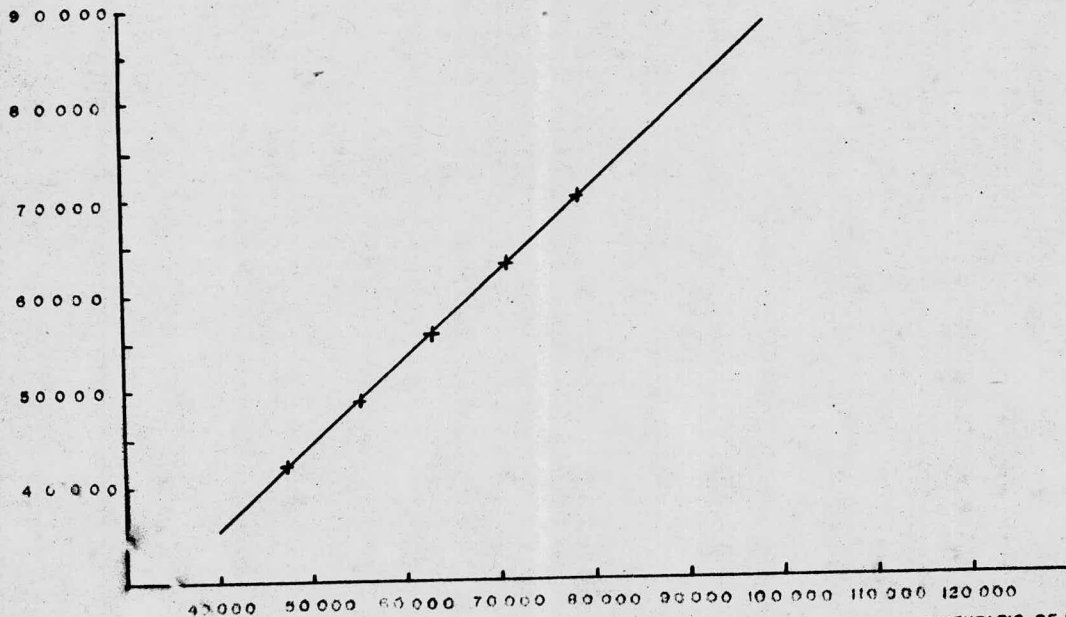
Capacidad (ton/año)	Inventario de materias primas (\$)
42,000	46,997,900
49,000	54,830,900
56,000	62,663,900
63,000	70,496,900
70,000	78,329,900

b) Inventario de producto terminado.

Medio mes al costo del producto incluyendo la depreciación:

Capacidad (ton/año)	Inventario de isopreno (\$)
42,000	39,941,100
49,000	45,455,200
56,000	50,969,600
63,000	56,483,700
70,000	61,998,100

PRODUCCION
(TON/AÑO)



INVENTARIO DE MATERIAS PRIMAS
(MILES DE PESOS)

VALORES DE INVENTARIOS DE MATERIAS PRIMAS CONTRA CAPACIDAD.
PLANTA DE POLIISOPRENO.

186

GRAFICA NO. 5

c) Cuentas por cobrar.

Medio mes promedio al precio de venta del poliisopreno de
\$25.80 kilogramo:

$$\text{Cuentas por cobrar} = \frac{70,000 \times 25,800 \times 0.5}{12} = \$75,250,000$$

Los valores correspondientes a diversas capacidades, son:

Capacidad (ton/año)	Cuentas por cobrar (\$)
42,000	45,150,000
49,000	52,675,000
56,000	60,200,000
63,000	67,725,000
70,000	75,250,000

d) Caja y bancos (Efectivo).

1% sobre ventas netas.

$$\text{Efectivo} = \frac{70,000 \text{ ton/año} \times 25,800 \text{ \$/ton} \times 1}{100} = \$18,060,000$$

El capital de trabajo correspondiente a las capacidades indicadas, será:

Capacidad (ton/año)	Capital de trabajo, Planta de poliisopreno (\$)
42,000	142,925,000
49,000	165,603,100
56,000	188,281,500
63,000	210,959,600
70,000	233,638,000

5') Inversión total.

A las capacidades analizadas anteriormente, las inversiones totales correspondientes son:

Capacidad (ton/año)	Inversión total. Planta de poliisopreno(\$)
42,000	618,040,000
49,000	640,718,100
56,000	663,396,500
63,000	686,074,600
70,000	708,753,000

B) COSTO DEL PRODUCTO.

I) Planta de isopreno.

a) Costo de producción.

1) Costos directos.

1.1) Costo de materia prima (base 1 ton de producto).

<u>Material</u>	<u>Cantidad (kg)</u>	<u>Precio unitario(\$/kg)</u>	<u>Total</u>
Corte C ₄	1,130	1.70	\$1,921.00
Formol (55%)	1,640	3.31	\$5,428.40
Catalizadores y productos Quim.	1	276.00	<u>\$ 276.00</u>

Costo de materia prima por tonelada de isopreno \$ 7,625.40

El costo anual de materia prima a 70,000 ton/año de capacidad será:

Costo anual de materia prima = $70,000 \times 7,625.40 = \$ 533,778,000$

1.2) Mano de obra directa (365 días).

Operarios por turno: 10

Salario diario (incluyendo prestaciones): \$ 273,00

Turnos : 4

$$M.O. = \frac{273.00\$/op. \text{ día} \times 365 \text{ días} \times 40 \text{ op.}}{1 \text{ año}} = \$ 3,985,800$$

1.3) Supervisión (Año = 12 meses).-

Ingenieros por turno: 1

Salario diario (incluyendo prestaciones): \$ 560.00

$$\text{Supervisión} = \frac{560.00\$/Ing. \text{ día} \times 365 \text{ días} \times 4 \text{ Ing.}}{1 \text{ año}} = \$817,600$$

1.4) Servicios.-

Para producir 1 tonelada de isopreno, se requieren:

<u>Servicio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio unitario(\$)</u>	<u>Total(\$/ton)</u>
Electricidad	145 kwh.	0.30	43.50
Vapor (46kg/cm ²)	12.5 ton.	27.00	337.50
Agua de enfriamiento	340 m ³	0.40	136.00
Agua de proceso	4 m ³	0.30	1.20
Combustible	1,500,000 kcal.	30.73(10 ⁶ kcal)	46.10
Refrigeración	500,000 kcal.	80.00(10 ⁶ kcal)	40.00
			<u>604.30</u>

$$\text{Servicios} = 70,000 \text{ ton/año} \times 604.30 \text{ \$/ton} = \$42,301,000$$

1.5) Mantenimiento y reparaciones.

Como costo de mantenimiento se estima un 3% del costo del -
equipo instalado dentro de límites de batería :

$$\text{Mantenimiento} = \frac{592,000,000 \times 3}{100} = \$ 17,760,000$$

1.6) Suministros de operación.

El costo de este concepto se estima en un 10% del costo de
mantenimiento y reparaciones:

$$\text{Suministros de operación} = \frac{17,760,000 \times 10}{100} = \$1,776,000$$

1.7) Cargos de laboratorio.

Se considera un 10% de la mano de obra:

$$\text{Cargos de laboratorio} = \frac{3,985,800 \times 10}{100} = \$ 398,600$$

2) Costos fijos.

2.1) Depreciación.

El costo de la inversión dentro de límites de batería es de
\$ 592,000,000 y el de la obra civil es de \$4,500,000, consi-
derándose la depreciación del equipo al 9% anual y la de la
obra civil al 5%:

$$\text{Depreciación} = 592,000,000 \times 0.09 + 4,500,000 \times 0.05 = \$53,505,000$$

2.2) Seguros.

Se considera un 20 al millar de la inversión fija:

$$\text{Seguros} = \frac{797,500,000 \times 20}{1000} = \$15,950,000$$

3) Costos generales de planta.

Dentro de este renglón se incluye la mano de obra indirecta, los gastos generales y la conservación de la planta, los — servicios médicos, seguridad y protección, comedor, recreación, laboratorio y área de almacenamiento. Se considera — como un 50% de la suma de la mano de obra directa, supervisión y mantenimiento (ref. 1,16,17,26)

Costos generales de planta =

$$\frac{(3,985,800 + 817,600 + 17,760,000) 50}{100} = \$11,281,700$$

b) Gastos generales.

1) Gastos de administración.

Se considera un 15% de los costos de mano de obra directa, supervisión y mantenimiento:

Gastos de administración =

$$\frac{(3,985,800 + 817,600 + 17,760,000) 15}{100} = \$3,384,500$$

2) Gastos de financiamiento.

Se considerará un 12% anual a 6 años, por un préstamo total de \$600,000,000 obtenidos durante los dos primeros años a partir de 1979 en que se considera se inicia la construcción de la planta.

c) Costo total del producto.

Comprende el costo de producción y los gastos generales:

CAPACIDAD	COSTO DE PRODUCCION	GASTOS GENERALES	COSTO TOTAL DEL PRODUCTO
42,000	\$451,122,100	\$72,384,500	\$523,506,600
49,000	508,730,000	60,384,500	569,114,500
56,000	566,337,900	48,384,500	614,722,400
63,000	623,945,800	36,384,500	660,330,300
70,000	681,553,700	24,384,500	705,938,200

d) Costo sobre la utilidad de operación.

Considerando un precio de venta de \$16.50 por kilogramo de isopreno, el costo sobre la utilidad de operación corresponde a los impuestos generales, que son de 42% para el impuesto

to sobre la renta y 8% de repartición de utilidades y en base a una producción de 70,000 ton/año, será:

$$\text{Impuestos} = (70,000,000 \times 16.50 - 705,938,200)0.5 =$$

\$224,530,900

II) Planta de poliisopreno.

a') Costo de producción.

1') Costos directos.

1.1') Costo de materia prima (Base 1 ton de producto).

Se hace un análisis de rentabilidad de la planta de isopreno y ya que no se conoce el precio de éste se toma el precio de transferencia de \$16.50 por kg. obtenido:

Material	Cantidad (kg)	Precio unitario (\$/kg)	Total
Isopreno	1,000	16.50	\$ 16,500
Solvente (Ciclohexano PEMEX)	100	5.20	\$ 520
Iniciador	2	250.00	\$ 500
Antioxidante	15	125.00	\$ 1,875
Otros			\$ 40
			<u>\$ 19,435</u>

El costo anual será:

Costo anual de materia prima = $70,000 \times 19,435 \text{ \$/ton} = \$1,360,450,000$

1.2') Mano de obra directa (365 días).

Operarios por turno: 7

Salario diario (incluyendo prestaciones): \$273.00

Turnos: 4

M.O. = $\frac{273. \text{ \$/op.día} \times 365 \text{ días} \times 28 \text{ op.}}{1 \text{ año}} = \$2,790,000$

1.3') Supervisión (Año = 12 meses).

Ingenieros por turno; 1

Salario diario (incluyendo prestaciones): \$560.00

Supervisión = $\frac{560.00 \text{ \$/Ing. día} \times 365 \text{ días} \times 4 \text{ Ing.}}{1 \text{ año}} =$

\$817,600

1.4') Servicios.

Para producir una tonelada de cis-1,4-poliisopreno, se requieren:

<u>Servicio</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio unitario(\$)</u>	<u>Total\$/ton</u>
Electricidad	410 kwh.	0.30	123.00
Vapor (10kg/cm ²)	1.5 ton	14.25	21.38
Agua desmineralizada	1 m ³	3.00	3.00
Agua de enfriamiento	8.5 m ³	0.40	3.40
Otros			<u>4.22</u>
			155.00

Servicios = 70,000 ton/año x 155.00 \$/ton = \$10,850,000

1.5') Mantenimiento y reparaciones.

Como costo de mantenimiento se estima un 3% del costo del - equipo instalado dentro de límites de batería:

$$\text{Mantenimiento} = \frac{350,000,000 \times 3}{100} = \$10,500,000$$

1.6') Suministros de operación.

El costo de este concepto se estima en un 10% del costo de - mantenimiento y reparaciones:

$$\text{Suministros de operación} = \frac{10,500,000 \times 10}{100} = \$1,050,000$$

1.7') Cargos de laboratorio.

Se considera un 10% de la mano de obra:

$$\text{Cargos de laboratorio} = \frac{2,790,000 \times 10}{100} = \$279,000$$

2') Costos fijos.

2.1') Depreciación.

El costo de la inversión dentro de límites de batería es de \$350,000,000 y de la obra civil es de \$4,500,000; considerando la depreciación del equipo al 9% y la de la obra civil al 5%:

$$\begin{aligned} \text{Depreciación} &= 350,000,000 \times 0.09 + 4,500,000 \times 0.05 = \\ &= \$ 31,725,000 \end{aligned}$$

2.2') Seguros.

Se considera un 20 al millar de la inversión fija:

$$\text{Seguros} = \frac{475,115,000 \times 20}{1000} = \$9,502,000$$

3') Costos generales de planta.

Dentro de este renglón se incluye la mano de obra indirecta,

los gastos generales y la conservación de la planta, los servicios médicos, seguridad y protección, comedor, recreación, laboratorio y área de almacenamiento. Se considerará como un 50 % de la suma de la mano de obra directa, supervisión y - mantenimiento (ref. 1,16,17,26):

$$\text{Costos generales de planta} = \frac{(2,790,000+817,600+10,500,000)50}{100} =$$

$$\$ 7,053,800$$

b') Gastos generales.

1') Gastos de administración.

Se considera un 15% de los costos de mano de obra directa, - supervisión y mantenimiento:

$$\text{Gastos de administración} = \frac{(2,790,000+817,600+10,500,000)15}{100} =$$

$$\$2,116,100$$

2') Gastos de distribución y venta.

Se considera un 2% de las ventas totales (ref.17):

$$\text{Gastos de distribución y venta} =$$

$$\frac{70,000 \text{ ton/año} \times 25,800 \text{ \$/ton} \times 2}{100} = \$36,120,000$$

3') Gastos de financiamiento.

Se considerará un interés de 12% anual sobre un préstamo to tal de \$420,000,000 aplicado durante los dos primeros años a partir de 1979 en que se considera se iniciará la cons---
trucción de la planta.

c') Costo total del producto.

Comprende el costo de producción y los gastos generales:

CAPACIDAD	COSTO DE PRODUCCION	GASTOS GENERALES	COSTO TOTAL DEL PRODUCTO
42,000	\$886,497,400	\$ 72,088,100	\$ 958,585,500
49,000	1,023,627,400	67,300,100	1,090,927,500
56,000	1,160,757,400	62,512,100	1,223,269,500
63,000	1,297,887,400	57,724,100	1,355,611,500
70,000	1,435,017,400	52,936,100	1,487,953,500

d') Costo sobre la utilidad de operación.

Considerando un precio de venta de \$25,80 por kilogramo de cis-1,4-poliisopreno, el costo sobre la utilidad de operación corresponde a los impuestos generales, que son de 42% para el impuesto sobre la renta y 8% de repartición de utilidades:

Impuestos = $(70,000,000 \times 25.80 - 1,487,953,500) 0.5 =$
 $\$159,023,200$

C) ANALISIS ECONOMICO

I) Determinación del precio de venta.

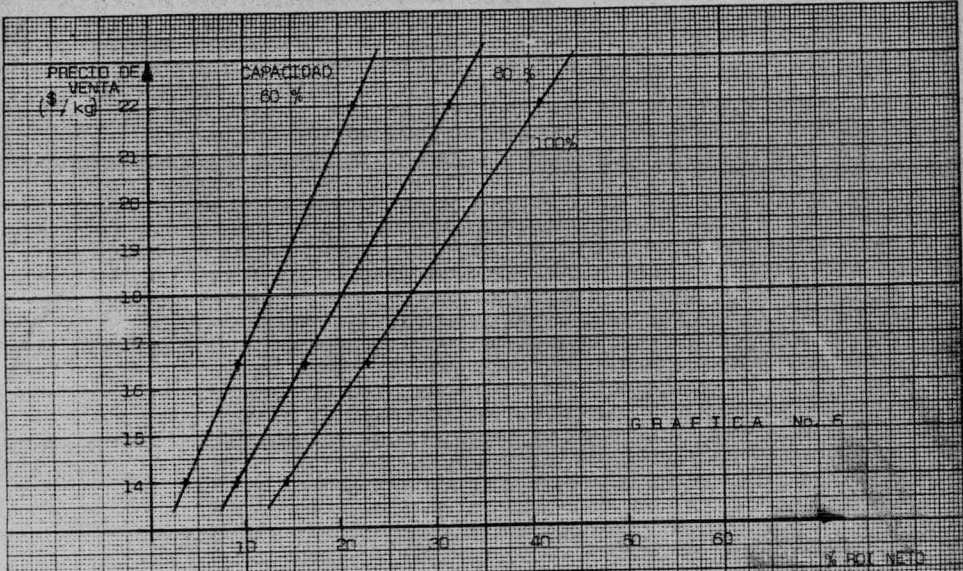
En el presente inciso se discutirán tanto el precio de transferencia del isopreno, como el precio de venta del cis-1,4-poliisopreno.

1) Precio de transferencia del isopreno.

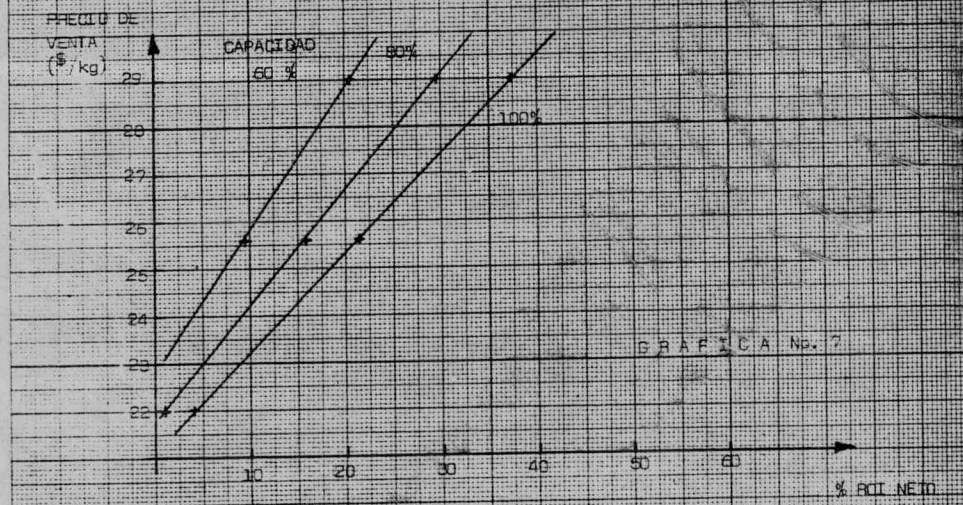
A continuación se muestra la gráfica No. 6 de sensibilidad del precio de transferencia del isopreno contra el % ROI neto a diferentes capacidades, estimándose el precio de transferencia en \$16.50 promedio por kilogramo, habiéndose fundamentado este precio en la obtención de una rentabilidad aceptable para la planta propuesta, ya que no existe información sobre el precio de este producto en el mercado nacional.

2) Precio de venta del poliisopreno.

En la gráfica No. 7 se muestra la sensibilidad del precio de venta del poliisopreno contra el % ROI neto a diferentes capacidades, habiéndose estimado un precio de venta de \$25.80 promedio por kilogramo, basándose este precio en los precios de venta actuales de los hules natural y sintético en el mercado, los cuales oscilan entre \$24.00 y \$26.00 en-



GRAFICA DE SENSIBILIDAD DEL PRECIO DE VENTA CONTRA EL % ROI NETO PARA LA PLANTA DE ISOPRENO



GRAFICA DE SENSIBILIDAD DEL PRECIO DE VENTA CONTRA EL % ROI NETO PARA LA PLANTA DE POLIISOPRENO

el caso del hule natural, \$28.00 a \$30.00 para el poliisopreno importado y en el FDI obtenido para esta planta.

II) Modelo de resultados.

Se ha calculado para diferentes niveles de producción el Estado Proforma el cual normará un criterio para conocer tanto — las utilidades como el capital que se deberá invertir en cada una de las plantas para los casos propuestos; la capacidad máxima de las plantas será de 70,000 ton/año por lo que se muestra la estimación por año a partir del inicio de la construcción de la planta que se considera en 1979.

III) Punto de equilibrio (ref. 1, 19,20).

Este cálculo permite conocer el número de unidades que se deben vender para que cuando menos se logren pagar los gastos — totales de la planta o sea que es el punto en el cual no se pierde ni se gana dinero. La evaluación se efectuó a capacidades de 42,000 ton/año (60%), 56,000 ton/año (80%) y 70,000 ton/año (100%).

PLANTA DE ISOPRENO

ESTADO PROFORMA DE PERDIDAS Y GANANCIAS.

(MILES DE PESOS)

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Inversión fija	310,000	797,500	797,500	797,500	797,500	797,500	797,500	797,500	797,500	797,500	797,500
Inventarios		49,488	56,001	62,514	69,027	75,540	75,540	75,540	75,540	75,540	75,540
Cuentas por cobrar		57,750	67,375	77,000	86,625	96,250	96,250	96,250	96,250	96,250	96,250
Efectivo		6,930	8,085	9,240	10,395	11,550	11,550	11,550	11,550	11,550	11,550
Capital de trabajo		114,168	131,461	148,754	166,047	183,340	183,340	183,340	183,340	183,340	183,340
Inversión total	300,000	911,668	928,961	946,254	963,547	980,840	980,840	980,840	980,840	980,840	980,840
Ventas		693,000	808,500	924,000	1,039,500	1,155,000	1,155,000	1,155,000	1,155,000	1,155,000	1,155,000
Costo de producción		451,122	508,730	566,338	623,946	681,554	681,554	681,554	681,554	681,554	681,554
Utilidad bruta		241,878	299,770	357,662	415,554	473,446	473,446	473,446	473,446	473,446	473,446
Gastos de administración		3,385	3,385	3,385	3,385	3,385	3,385	3,385	3,385	3,385	3,385
Gastos de financiamiento	18,000	69,000	57,000	45,000	33,000	21,000	9,000				
Gastos generales	18,000	72,385	60,385	48,385	36,385	24,385	12,385	3,385	3,385	3,385	3,385
Utilidad de operación		169,493	239,385	309,278	379,169	449,062	461,061	470,061	470,061	470,061	470,061
Reparto de utilidades		13,559	19,151	24,742	30,334	35,925	36,885	37,605	37,605	37,605	37,605
Impuestos		71,187	100,642	129,897	159,251	188,606	193,646	197,426	197,426	197,426	197,426
Utilidad neta		84,747	119,692	154,639	189,584	224,531	230,530	235,030	235,030	235,030	235,030
% ROI Neto		9.30	12.88	16.34	19.68	22.89	23.50	23.96	23.96	23.96	23.96

PLANTAS DE POLIISOPRENO
ESTADO PRÓFORMA DE PERDIDAS Y GANANCIAS
(MILES DE PESOS)

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Inversión fija	210,000	475,115	475,115	475,115	475,115	475,115	475,115	475,115	475,115	475,115	475,115
Inventarios		86,939	100,286	113,633	126,981	140,328	140,328	140,328	140,328	140,328	140,328
Cuentas por cobrar		45,150	52,675	60,200	67,725	75,250	75,250	75,250	75,250	75,250	75,250
Efectivo		10,836	12,642	14,448	16,254	18,060	18,060	18,060	18,060	18,060	18,060
Capital de trabajo		142,925	165,603	188,281	210,960	233,638	233,638	233,638	233,638	233,638	233,638
Inversión total	210,000	618,040	640,718	663,396	686,075	708,753	708,753	708,753	708,753	708,753	708,753
Ventas		1,083,600	1,264,200	1,444,800	1,625,400	1,806,000	1,806,000	1,806,000	1,806,000	1,806,000	1,806,000
Costo de producción		886,497	1,023,627	1,160,757	1,297,887	1,435,017	1,435,017	1,435,017	1,435,017	1,435,017	1,435,017
Utilidad bruta		197,103	240,573	284,043	327,513	370,983	370,983	370,983	370,983	370,983	370,983
Gastos de administración		2,116	2,116	2,116	2,116	2,116	2,116	2,116	2,116	2,116	2,116
Gastos de distribución y venta		21,672	25,284	28,896	32,508	36,120	36,120	36,120	36,120	36,120	36,120
Gastos de financiamiento	12,600	48,300	39,900	31,800	23,100	14,700	6,300				
Gastos generales	12,600	72,088	67,300	62,512	57,724	52,936	44,536	38,236	38,236	38,236	38,236
Utilidad de operación		125,015	173,273	221,531	269,789	318,047	326,447	332,747	332,747	332,747	332,747
Reparto de utilidades		10,001	13,862	17,722	21,583	25,444	26,116	26,620	26,620	26,620	26,620
Impuestos		52,506	72,775	93,043	113,311	133,580	137,108	139,754	139,754	139,754	139,754
Utilidad neta		62,508	86,637	110,766	134,895	159,024	163,224	166,374	166,374	166,374	166,374
% ROI neto		10.11	13.52	16.70	19.66	22.44	23.03	23.47	23.47	23.47	23.47

1) Planta de isopreno.

CALCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.

<u>Costos fijos</u>	<u>\$/año.</u>
Mano de obra directa.	3,985,800
Supervisión	817,600
Mantenimiento	17,760,000
Suministros de operación	1,776,000
Cargos de laboratorio	398,600
Depreciación	53,505,000
Seguros	15,950,000
Costos generales de planta	11,281,700
Gastos de administración	3,384,500
Gastos de financiamiento(promedio)	42,000,000
	<hr/>
Costos fijos. Total.	150,859,200

<u>Costos variables</u>		<u>\$/año</u>	
	<u>42,000</u>	<u>56,000</u>	<u>70,000</u>
Materia prima	320,266,800	427,022,400	533,778,000
Servicios	<u>25,380,600</u>	<u>33,840,800</u>	<u>42,301,000</u>
Costos variables Total	345,647,400	460,863,200	576,079,000
<u>Costos Totales</u>	496,506,600	611,722,400	726,938,200
<u>Valor de la Produc ción transferida</u>	693,000,000	924,000,000	1,155,000,000

En la gráfica No. 8 se ilustran los datos correspondientes.

2) Planta de poliisopreno.

CALCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.

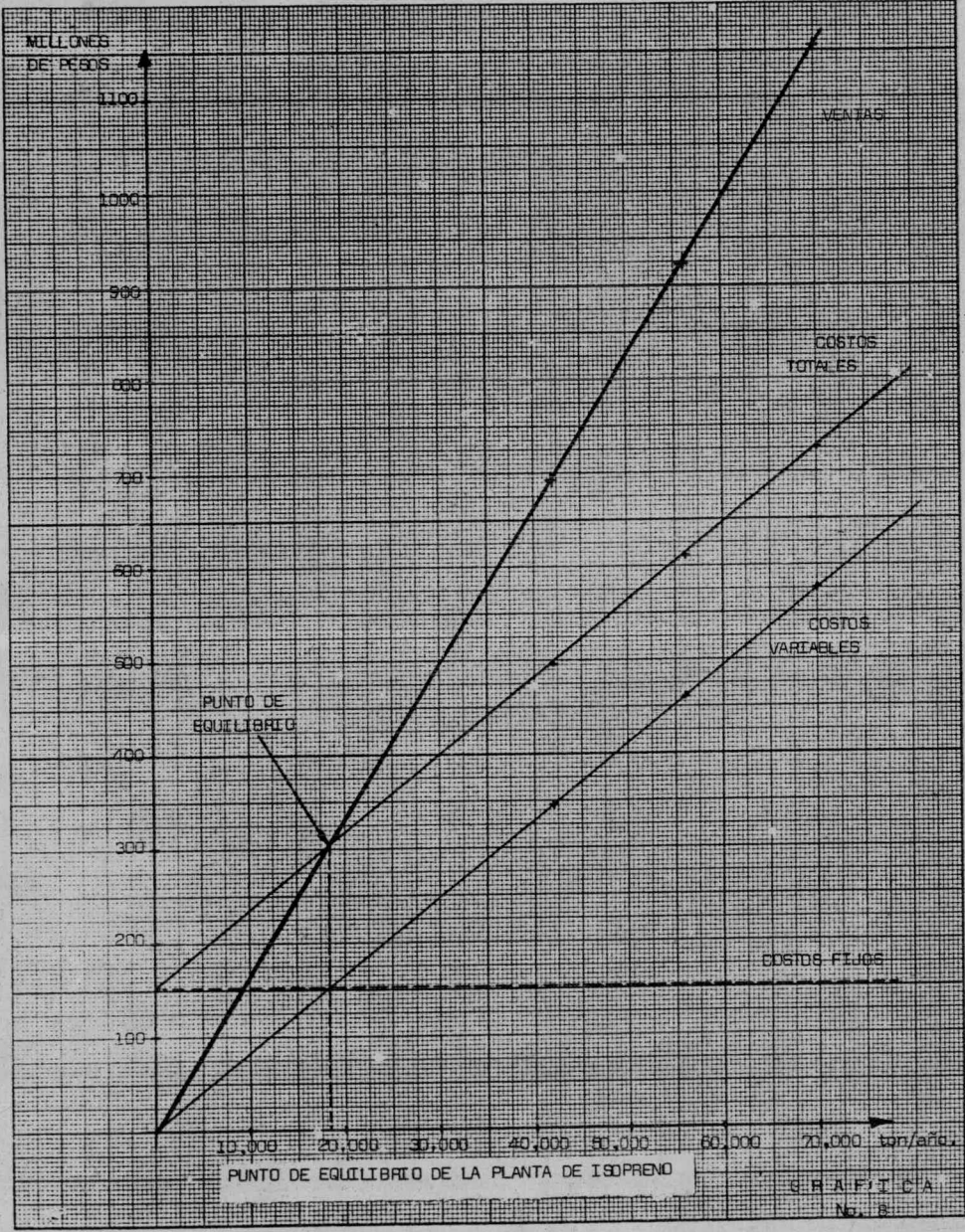
<u>Costos fijos</u>	<u>\$/año</u>
Mano de obra directa	2,790,000
Supervisión	817,600
Mantenimiento	10,500,000

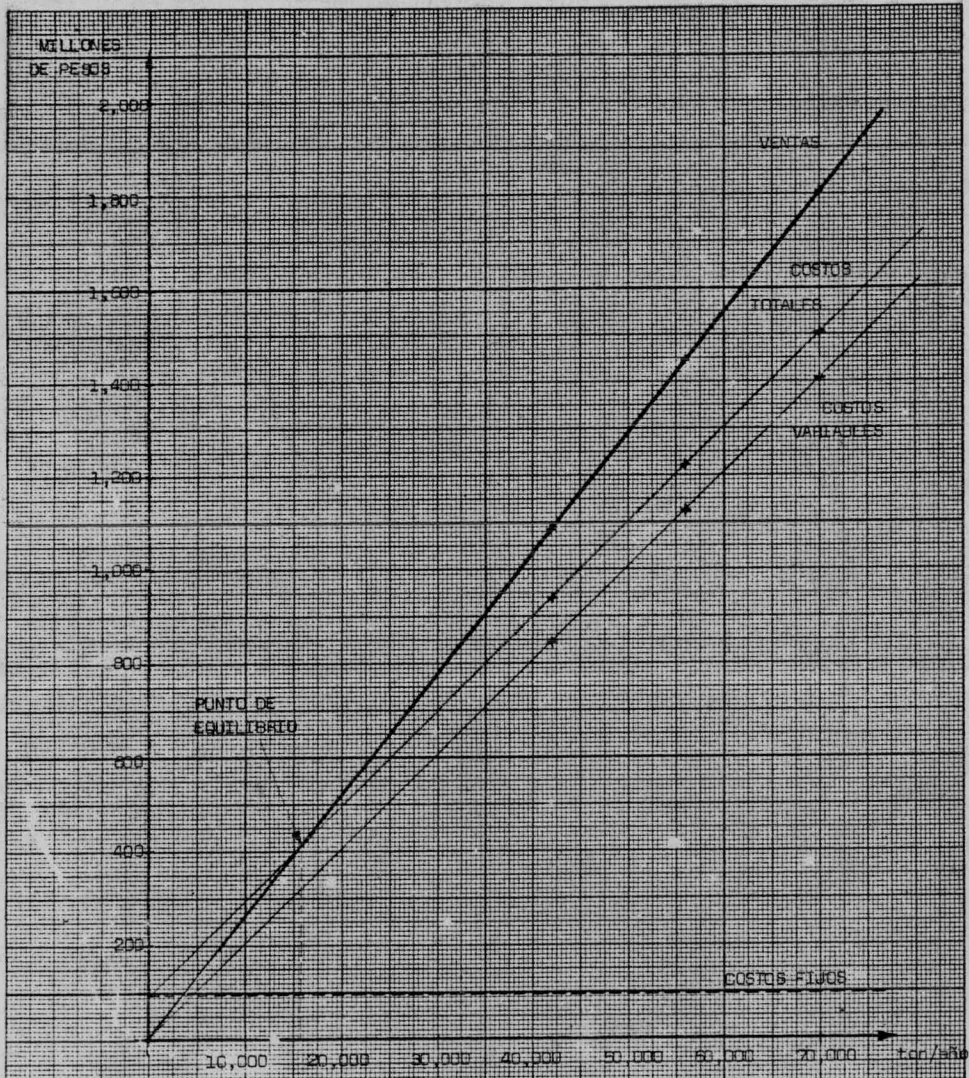
Suministros de operación	1,050,000
Cargos de laboratorio	279,000
Depreciación	31,725,000
Seguros	9,502,000
Costos generales de planta	7,053,800
Gastos de administración	2,116,100
Gastos de financiamiento (promedio)	<u>29,400,000</u>
Costos fijos. Total.	95,233,500

Costos variables	\$/año		
	<u>42,000</u>	<u>56,000</u>	<u>70,000</u>
Materia prima	816,270,000	1,088,360,000	1,360,450,000
Servicios	6,510,000	8,680,000	10,850,000
Gastos de distribución y venta	<u>21,672,000</u>	<u>28,896,000</u>	<u>36,120,000</u>
Costos variables. Total	844,452,000	1,125,936,000	1,407,420,000
<u>Costos totales</u>	939,685,500	1,221,169,500	1,502,653,500
<u>Ventas.</u>	1,083,600,000	1,444,800,000	1,806,000,000

En la gráfica No. 9 se ilustran los datos correspondientes.

De las gráficas anteriores se concluye que para cubrir los gastos totales, se deben producir 16,400 ton/año (26.28% de capacidad) como mínimo en la planta de isopreno y - - - 16,300 ton/año (23.29% de capacidad) en la planta de poliisopreno.





PUNTO DE EQUILIBRIO DE LA PLANTA DE POLIISOPRENO

GRAFICA
No. 9

C A P I T U L O VII.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

A) DISCUSION.

B) CONCLUSIONES.

DISCUSION Y CONCLUSIONES.

A) DISCUSION.

Formando parte del sector industrial del país, el sector de la industria química ha destacado cada vez — más preponderantemente y dentro de él en forma señalada — el de la industria petroquímica, tanto básica como secundaria.

Las bases de la evolución de este sector han — sido el dinámico desarrollo que la nación ha sostenido y — las alentadoras perspectivas y realidades que para el engran decimiento del país presentan las reservas de hidrocarburos — con que actualmente se cuenta y otras más que indudablemen te se agregarán, las que ofrecen la seguridad para llevar — a cabo programas ambiciosos de expansión e integración de la industria petroquímica, necesarios para apoyar la cre — ciente demanda de productos por parte de las distintas ramas industriales.

A partir del 24 de Agosto de 1959 en que se es tableció el primer artículo de la ley Reglamentaria del — Artículo 27 Constitucional, en el ramo de la petroquímica, se ha logrado un amplio desarrollo que a la fecha se mani — fiesta a través de los múltiples permisos petroquímicos — que el Gobierno Federal ha otorgado a empresas privadas.

El sector petroquímico, tanto público como privado, ha erigido modernas y eficientes instalaciones que — han permitido lograr una tasa de crecimiento que se puede definir claramente por la cita siguiente, publicada en noviembre de 1976 por la revista técnica norteamericana "Petróleo Internacional": "En petroquímica, Brasil tiene una tasa de crecimiento asombrosa: 20% por año o sea la segunda más alta del mundo. La primera es la de México".

No obstante este extraordinario crecimiento, — se ha observado que éste no ha sido suficiente, dado que — nuestro país ha tenido, necesidad de realizar importaciones de magnitud de petroquímicos básicos, así como de buen número de los comprendidos dentro de la petroquímica secundaria o de productos naturales como el hule de origen vegetal, cuya carencia en el país puede ser suplida ventajosamente con la producción del cis-1,4-poliisopreno que, como se ha establecido, es un sustituto de origen petroquímico, del hule natural.

El cis-1,4-poliisopreno es un polímero cuyas — propiedades lo hacen el sucedáneo óptimo del hule natural, cubriendo satisfactoriamente todas las aplicaciones de — este producto.

Como resultado del análisis de los procesos — existentes para la producción de isopreno y de las materias primas necesarias, se ha seleccionado el proceso del—

Instituto Francés del Petróleo el cual se basa en la reacción de isobutileno y formaldehído que puede ser obtenido a partir de metanol, instalando la planta adecuada dentro del complejo propuesto. La selección del proceso IFP se basa en la disponibilidad existente y futura del isobutileo no necesario, sin embargo en el caso de que se llegara a consolidar el proyecto anunciado por PEMEX para la instalación en 1980, de una planta productora de 300,000 toneladas anuales de propileno en Poza Rica Ver., sería conveniente comparar las ventajas del proceso seleccionado, contra las que presenta el proceso Good Year-Scientific Design que emplea como materia prima dicho producto.

Otro aspecto a considerar es el del desarrollo de la producción del hule natural dentro del país, la que depende de la plantación de Hevea Brasiliensis en las zonas apropiadas existentes para su cultivo, plantación que estadísticamente se ha incrementado muy lentamente debido a los problemas en el avance de la plantación misma y en el sostén del desarrollo y producción de los cultivos, que como se ha indicado pueden rendir su primer sangrado a los 7 años de haberse sembrado.

Al respecto los esfuerzos gubernamentales se han canalizado a través del Instituto Mexicano del Café, institución que coordina, en este aspecto, las actividades del Programa Nacional del hule natural y de la Comisión del Papaloapan, cuyos proyectos más optimistas contemplan-

el sembrado de 28,000 hectáreas, cuya producción en caso de lograr el avance planeado, se estima se inicie entre los años de 1987 a 1990, la que vendría a complementar -- junto con el proyecto propuesto en el presente trabajo, la satisfacción de la demanda nacional esperada para ese período.

En base al estudio de mercado se ha determinado una capacidad de producción de 70,000 toneladas anuales.

Según la disponibilidad de isobutileno existente, la estructura del mercado de consumo, el cual se localiza en el centro de la república y las facilidades encontradas, la localización seleccionada para las plantas ha sido en la zona aledaña a la Refinería de Salamanca Gto.

Considerando el estudio económico se planea -- iniciar la producción de las plantas a principios de 1980 -- al 60% de capacidad, alcanzándose la capacidad máxima en 1984. En el presente estudio se ha obtenido un porcentaje de ROI neto de 9.71% promedio a 42,000 ton/año, de 16.52% promedio a 56,000 ton/año y de 23.72% promedio a 70,000 ton/año de capacidad, lo cual se ha basado en un precio de \$16.50 por kilogramo para el isopreno y de \$25.80 por kilogramo para el poliisopreno, siendo este último comparable al precio actual del hule natural que fluctúa entre \$24.00 y \$26.00 por kilogramo e inferior al precio del producto -- importado que varía de \$28.00 a \$30.00 por kilogramo.

Las inversiones fijas estimadas para el primer año de operación, han sido de \$797,500,000 para la planta de isopreno y de \$475,115,000 para la planta de poliisopreno y las inversiones totales respectivas han sido de --- \$911,668,000 y de \$618,040,000.

Para el presente estudio se ha considerado el obtener los siguientes préstamos: \$600,000,000 para la --- planta de isopreno y \$420,000,000 para la planta de poli--- isopreno, que se aplicarán durante los dos primeros años --- del proyecto.

B) CONCLUSIONES.

El crecimiento anual promedio de la Industria Petroquímica de México ha sido de un 15% en los últimos --- años lo cual favorece grandemente la facilidad de inver--- sión en nuevos productos.

En el presente caso se ha analizado un producto sucedáneo óptimo del hule natural, que no se produce en nuestro país y que puede substituir importaciones de consi--- deración con el consecuente impacto en la balanza económi--- ca nacional.

El análisis realizado reportó unas inversiones

fijas de \$797,500,000 para la planta de isopreno y de --- \$475,115,000 para la planta de poliisopreno, planeando iniciar la construcción de las plantas a principios de 1979 y su operación en los primeros meses de 1980. Los capitales de trabajo promedio en 10 años, son: Para la planta de isopreno de \$166,047,000 y para la planta de polimerización de \$210,959,700, resultando unas inversiones totales promedio durante los diez años de \$963, 547,000 para la planta de isopreno y de \$686,074,700 para la de polimerización.

El promedio de rentabilidad que se obtiene para ambas plantas, después del 6o. año en que se considera - que se pagan las plantas, es de 23.72%.

Dada la naturaleza de las plantas y de los productos obtenidos se podría pensar en la posibilidad de que Petróleos Mexicanos tome a su cargo la producción del isopreno, coordinando su operación con una empresa de la iniciativa privada que se haga cargo de la producción del polímero, razón por la cual se han presentado los análisis - por separado para cada proceso dentro del estudio.

El éxito del proyecto depende básicamente del apoyo de las autoridades gubernamentales con respecto al cierriere de la frontera a las importaciones del hule natural, de poliisopreno y de sus látices, así como del avance de la Tecnología, riesgo involucrado en todo proyecto.

Con el objeto de llevar adelante el proyecto -

propuesto, se recomienda ampliar el estudio de mercado y el análisis del proceso en forma más profunda, con los objetivos de consolidar juicios, acerca del mercado y del proceso, lo cual implicaría un análisis detallado que sale del alcance del presente estudio.

Finalmente, debido a que se atraviesa por una crisis inflacionaria mundial que por supuesto afecta al país, para contrarrestar la obsolescencia que el presente estudio pueda adquirir, se sugiere revisar cualquier cambio en los factores considerados.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Aries R. and Newton R.
Chemical Engineering Cost Estimation.
McGraw-Hill Book Co., New York, 1955.
- 2.- Asociación Nacional de la Industria Química A.C.
Anuario de la Industria Química Mexicana.
1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977.
- 3.- Dean John A.
Lange's Handbook of Chemistry.
Mc.Graw Hill Book Co., New York, 1973.
- 4.- Encyclopedia of Polymer Science and Technology.
Interscience Publishers Co., New York, 1966.
- 5.- Groggins P.H.
Unit Processes in Organic Synthesis.
Mc. Graw Hill Book Co. Inc., New York, 1958.
- 6.- Hawley Gessner G.
Diccionario de Química y de Productos Químicos.
Ediciones Omega, S.A. Barcelona, 1975.

- 7.- Heinisch K.F.
Dictionary of Rubber.
Applied Science Publishers Ltd., London, 1974.

- 8.- Instituto Mexicano del Petróleo.
Desarrollo y perspectivas del sector secundario de
la Industria Petroquímica.
Subdirección de estudios económicos y planeación industr
rial IMP. 1ra. Edición, 1973.

- 9.- Kent A. James.
Riegel. Química Industrial.
Ediciones Grijalbo, S.A. México D.F., 1964.

- 10.-Kirk Raymond E. and Othmer Donald F.
Encyclopedia of Chemical Technology.
Interscience Publishing Co., New York, 1967.

- 11.-Mc. Graw Hill Book Co.
Mc. Graw Hill Encyclopedia of Science and Technology.
Mc. Graw Hill Book Co., New York, 1971.

- 12.- Miall Stephen y Miall L. Mackenzie.
Diccionario de Química.
Editorial Atlante, S.A., México, 1953.

- 13.- Murillo Héctor.
Tratado elemental de Química Orgánica.
Editorial Porrúa, S.A., México, 1952.
- 14.- Perry John H.
Manual del Ingeniero Químico.
UTEHA, México, 1966.
- 15.- Perry John H.
Chemical Engineers Handbook.
Mc. Graw Hill Book Co., New York, 1963.
- 16.- Perry Robert H. and Chilton Cecil H.
Chemical Engineers Handbook.
Mc. Graw Hill Kagakusha, Ltd. Fifth Ed., Tokyo, 1973.
- 17.- Peters Max. S. and Timmerhaus Klaus D.
Plant Design and Economics for Chemical Engineers.
Mc. Graw Hill Book Co., New York, 1958.
- 18.- Rase H. F. and Barrow M.H.
Project Engineering of Process Plants.
John Wiley & Sons, Inc., New York, 1957.
- 19.- Rautenstrausch Walter y Villers Raymond.
Economía de las Empresas Industriales.
Fondo de cultura Económica, México, 1965.

- 20.- Schweyer Herbert E.
Process Engineering Economics.
Mc. Graw Hill Book Co., New York, 1955.
- 21.- Seymour Raymond Benedict.
Modern Plastics Technology.
Prentice Hall, 1975.
- 22.- Shreve Norris R.
Chemical Process Industries.
Mc. Graw Hill Book Co., New York, 1967.
- 23.- Secretaría de Industria y Comercio.
Anuario Estadístico del Comercio Exterior
Dirección General de Estadística, S.I.C.
1971, 1972, 1973, 1974, 1975.
- 24.- Stanford Research Institute.
Chemical Economics Handbook.
Menlo Park, Calif., April, 1974.
- 25.- Taylor George A.
Ingeniería Económica.
Editorial Limusa, México, 1976.

26.- Tyler Chaplin and Winter C. H. Jr.
Chemical Engineering Economics.
Mc. Graw Hill Book Co ., New York, 1959.

27.- Vilbrandt Frank C. and Dryden Charles E.
Chemical Engineering Plant Design.
Mc. Graw Hill Book Co., New York, 1959.