



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

MODELO DE LA INDUSTRIA QUIMICA EN MEXICO,
CASO ESPECIAL PETROQUIMICA,
RAMA DEL ETILENO

TESIS MANCOMUNADA

GABRIEL LUIS BENAVIDES SERRANO
CARLOS ORTIZ SANDOVAL

INGENIERO QUIMICO

1977



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.

QUINIA



M-54
TOSIS 1977

Jurado asignado originalmente
segun el tema

PRESIDENTE Prof. CARLOS H. MENA BRITO FLORES

VOCAL Prof. JORGE MARTINEZ MONTES

SECRETARIO Prof. RODOLFO MORA VALLEJO

1er. SUPLENTE Prof. ENRIQUE BRAVO MEDINA

2° SUPLENTE Prof. ARTURO LOPEZ TORRES


Sitio donde se desarrolló el tema : FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M.

Nombre completo y firma de los sustentantes:

GABRIEL LUIS BENAVIDES SERRANO

CARLOS ORTIZ SANDOVAL

Nombre completo y firma del asesor del tema:


CARLOS H. MENA BRITO FLORES.

A NUESTROS PADRES

A NUESTROS PROFESORES

A NUESTROS AMIGOS

AGRADECEMOS LA INVALUABLE COLABORACION
DE LOS INGENIEROS:

CARLOS H. MENA BRITO Y
HORACIO GUEVARA

YA QUE SIN ELLA NO SE HUBIERAN LOGRADO
LOS OBJETIVOS DE LA PRESENTE TESIS.

INDICE

CAPITULO I : INTRODUCCION	PAG. 1
CAPITULO II : PRODUCTOS CONSIDERADOS	PAG. 4
CAPITULO III : DESCRIPCION DEL MODELO	PAG. 28
CAPITULO IV : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	PAG. 42
BIBLIOGRAFIA	PAG. 45

a) Panorama de la Industria Petroquímica.

Dentro del sector industrial nacional, ha venido destacando en las últimas décadas el sector de la industria química y dentro de este sector el de la industria petroquímica.

El desenvolvimiento de dicho sector ha sido posible debido al dinámico desarrollo económico que la nación ha sostenido, también a que --- nuestro país posee los recursos de materia prima que son la base principal de la existencia de la industria petroquímica.

El amplio desarrollo en el ramo de la Petroquímica logrado a partir del 24 de agosto de 1959, en que se estableció el primer reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional, en el ramo de la petroquímica, se manifiesta a través de los 322 permisos petroquímicos que el Gobierno Federal ha otorgado a 122 empresas privadas a la fecha.

No obstante el dinámico crecimiento del orden del 15 % anual en volumen que se ha logrado mantener en este sector, se ha observado que éste no es suficiente, dado que nuestro país tiene necesidad de realizar importaciones de magnitud de productos petroquímicos básicos, así como la de un buen número de los comprendidos dentro de la petroquímica secundaria.

Está claro que las reservas petroleras de nuestro país y la perspectiva de incorporar nuevas zonas a la producción ofrecen la seguridad para llevar a cabo programas ambiciosos de expansión e integración de la industria petroquímica y que son necesarios para apoyar la creciente demanda de productos petroquímicos por parte de las distintas ramas industriales.

b) Definición del problema.

La industria petroquímica se caracteriza por la cuantía de las inversiones que requiere y por poseer una estructura de interrelación entre productos que obliga a una planeación coordinada e integral.

En vista de la importancia de las economías de escala en este sector y dado que existen restricciones de financiamiento, las preguntas - ¿De que capacidad? y ¿Cuándo deben hacerse las nuevas instalaciones?, no tienen una respuesta obvia y directa. Existe una infinidad de posibles estrategias de desarrollo y la selección de la mejor de ellas sólo es posible con el auxilio de las técnicas de programación matemática. El problema combinatorio resultante de tener que escoger entre numerosos productos, fechas de instalación y capacidades, se plantea como un modelo de programación mixta, en el que mediante variables binarias, se simula la decisión de producir o no cada producto.

Antes de disponer de lenguajes de programación matemática con algoritmos para manejar variables continuas y discretas, no era posible resolver este tipo de problemas en tiempos razonables. Se presenta en esta tesis un modelo dinámico y puntual que describe el desarrollo de la industria de derivados del etileno.

La estructura algebraica del modelo es general y permite manejar cualquier número de productos e interrelaciones entre ellos; permite también, incluir como parte del problema de decisión, la selección de diversas tecnologías para obtener algún producto. La estructura numérica es menos firme ya que muchos de los datos fueron estimados. Tratamos con un campo en el que seguramente la colaboración de expertos en la tecnología y la economía de los productos petroquímicos puede mejorar mucho la confiabilidad de los resultados.

Se ha considerado como un solo problema de planeación el de la industria estatal y la privada, con una función objetivo nacional que garantice el desarrollo de la industria de derivados del etileno a mínimo costo total; se sabe que éste es un enfoque simplista pero dado que el propósito básico es el de ilustrar el potencial de una herramienta más que el de obtener resultados específicos y que se desea enfatizar la conveniencia de la planeación coordinada, se ha adoptado este enfoque. Con facilidad se puede modificar la estructura del modelo para tomar en cuenta las diferencias entre los objetivos de una empresa estatal y una privada.

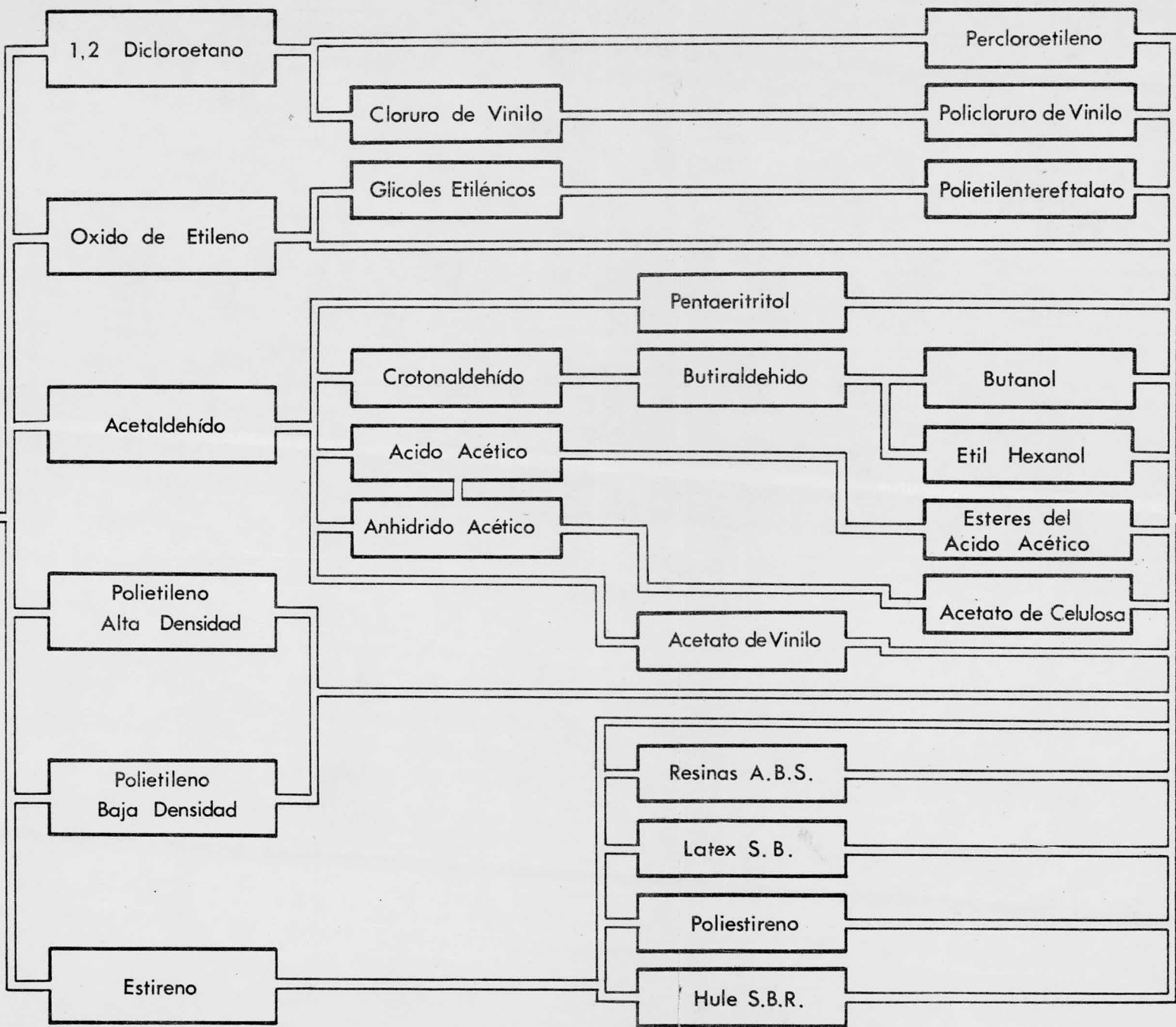
Un modelo de la magnitud de este requiere gran cantidad de datos, hubo necesidad de estimar en forma gruesa muchos de ellos por lo que los resultados que se presentan solo tienen un carácter ilustrativo.

c) Objetivo.

El objetivo de esta tesis es desarrollar un modelo que permita encontrar la estrategia de desarrollo óptima para la industria de los derivados del etileno, con el fin de ilustrar la utilidad de las técnicas cuantitativas en la solución integrada de los problemas de inversión.

ORZUM

DEMANDA NACIONAL



Los insumos básicos para la industria petroquímica son obtenidos del gas natural ó como subproductos de la refinación del petróleo. El carbón ha sido grandemente desplazado, pero puede incrementarse significativamente por posibles escaseces de gas natural y petróleo. La industria petroquímica convierte sus materias primas en una variedad de productos químicos intermedios y finales. Los intermedios se consumen dentro de la industria misma; los productos finales se usan en cualquier parte de la economía, principalmente como materias primas para otros artículos más complejos tales como plásticos, elastómeros y fibras sintéticas. Debido a que estos productos son materias primas para muchas otras industrias, la industria petroquímica es un eslabón particularmente importante en nuestro sistema económico.

Para la manufactura de un producto químico dado, existen a menudo dos ó más transformaciones disponibles, cada una involucrando diferentes combinaciones de materias primas y coproductos. No se encuentran métodos radicalmente diferentes para realizar la transformación de un producto químico dado. La libertad con el cual el "Know-How" de un proceso químico es licenciado en el mundo entero, facilita a los inversionistas adquirir los mejores procesos, por lo que las diferencias dentro de la industria tienden a ser dominadas por las materias primas usadas, mientras que la tecnología usada para implementar una ruta de reacción particular, es relativamente uniforme. Mas aún, la clase de tecnología de proceso usada para producir la mayoría de los productos petroquímicos es similar en sofisticación y capital. Un sector de la industria -

no difiere grandemente de otro en el nivel de la competencia tecnológica requerida y finalmente, para todos los productos petroquímicos los costos de las materias primas dominan la economía de la producción típicamente representada por un 60 a 90 por ciento de los costos de producción.

En suma, la industria petroquímica está acotada por un lado por las fuentes de productos químicos básicos derivados del crudo y del gas natural, y por el otro lado por el mercado de consumo que requiere materiales sintéticos de gran diversidad. Dentro de estas limitaciones, la industria es un sistema flexible interdependiente de transformaciones químicas comercialmente probadas, donde la realización de las mismas no difieren grandemente alrededor del mundo.

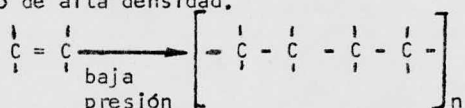
Considerando todo lo anterior, decidimos enfocar nuestro trabajo a la rama del etileno por ser este producto uno de los de mayores posibilidades de desarrollo en México y ser sus derivados los más adecuados para lograr los objetivos del presente estudio. A continuación exponemos consideraciones tecnológicas de cada producto considerado.

POLIETILENOS.

Hay dos clases de polietilenos, el de alta densidad y el de baja densidad, ambos son termoplásticos, siendo sus principales características: tener bajo punto de reblandecimiento, debajo del punto de ebullición del agua, lo cual facilita el procesamiento de todos los plásticos derivados de ellos; las propiedades de alta resistencia a los impactos

(ó a los esfuerzos) y de flexibilidad, los hacen apropiados para aplicaciones de película y de moldeo por inyección; su otra transparencia permite que sea usado como envoltura. El proceso de obtención del polietileno de baja densidad es más costoso que el de alta densidad, aunque ambos requieren grandes inversiones y altos costos de operación.

a) Polietileno de alta densidad.



Dos tipos de procesos son usados para hacer polietileno de alta densidad, aquellos que usan óxidos metálicos como catalizadores y operan alrededor de 400 psig, y aquellos que emplean catalizadores Ziegler, que son una mezcla de haluro de titanio y trialkilato de aluminio, los cuales operan a presiones prácticamente atmosféricas.

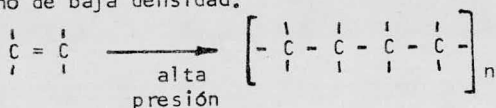
El primer proceso tiene la desventaja de que el olor producido por el mismo es muy desagradable. Esta desventaja pudiera ser pasada por alto, pero la sección de la planta donde el catalizador, insoluble en agua, es separado del polímero, representa la mayor parte de la inversión total debido a las altas presiones de trabajo.

En el proceso Ziegler, primero, el catalizador es introducido junto con etileno de alta pureza al reactor de polimerización en presencia de un solvente como el heptano, la temperatura es suficientemente baja (120-170°F) para causar que el polímero se precipite en el solvente. El precipitado es lavado con agua para disolver el catalizador y después sólo restanoperaciones de filtración y acabado del material.

Sus principales usos son: recipientes moldeados por soplado, moldeado por inyección, tuberías y perfiles, películas para envoltura, recubrimientos de material eléctrico, recubrimientos por extrusión. En el campo de los artículos moldeados por soplado, el mercado lo comparte con el cloruro de polivinilo.

Se encuentra en fase de ingeniería una planta de 100,000 ton/año para producir este polietileno que en la actualidad no se produce en nuestro país, pero, fué tomada como capacidad ya instalada para efectos del presente estudio, en virtud de su inminente arranque.

b) Polietileno de baja densidad.



El proceso de obtención del polietileno de baja densidad requiere de una alimentación de 99,5% de etileno, que es comprimido alrededor de 1500 atmósferas y calentado a 380°F. Entre más presión le apliquemos al proceso, mayor peso molecular del polímero obtendremos. Después de la introducción de 0,06% de oxígeno ó de un peróxido orgánico que actúa como catalizador, el etileno entra al reactor de polimerización. El monómero y el polímero son separados, el etileno que no reacciona se recircula, el polímero se extruye, enfría y corta en gránulos ya como producto terminado.

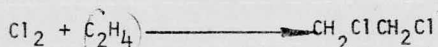
El polietileno de baja densidad ha capturado una parte importante de los usos en película, que habían sido dominio exclusivo del celofán. Sus usos principales están en el campo de empaque y envoltura de diversas ma-

terias como: alimentos congelados, carnes y pescados, pasteles y similares, frutas, prendas en lavanderías, bolsas industriales etc.

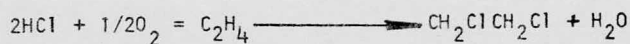
Como se mencionó anteriormente en México solo se elabora ese tipo de polietileno, utilizando el proceso de alta presión. Este producto se empezó a fabricar desde 1966 en la planta de Reynosa, Tamps. con capacidad de 21,000 tón/año a partir de 1971 entró en operación una segunda planta en Poza Rica, Ver. Se encuentra otra planta de este producto en fase de proyecto para producir 240,000 ton/año.

1,2 DICLOROETANO.

Este producto puede ser obtenido a partir de etileno por cloración directa:



ó por oxícloración:



Es materia prima para antidetonantes de gasolina como el tetraetilo de plomo, pero éstos están disminuyendo en su uso por ser altamente contaminante, asimismo, es también materia prima del percloroetileno y tiene usos en pequeñas cantidades como solvente.

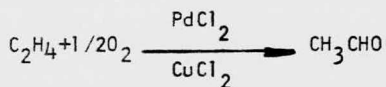
El uso principal de este producto es para la elaboración del cloruro de vinilo.

Su producción data de 1967, en una planta con capacidad de 38,000 -

ton/año. A partir de 1973 se instaló una segunda planta con capacidad de 43,500 ton/año y en 1974 una tercera de 71,500 ton/año, por lo que la capacidad total en el complejo Pajaritos, Ver. es de 157,000 ton/año.

Se encuentra en proyecto una planta de cloración directa para la fabricación de 330,000 ton/año, de este producto.

ACETALDEHIDO.



El proceso más importante en el cual se fabrica este producto es el Wacker, que consiste en la oxidación de etileno directamente sobre un catalizador de cloruro cúprico y cloruro de paladio.

Existen dos variantes que son: el proceso de una sola etapa, donde el oxidante es oxígeno puro y el catalizador es regenerado en el mismo lugar de reacción; en el proceso de dos etapas, el catalizador utilizado es regenerado en un reactor separado y el oxidante es el aire. Este último proceso forma más subproductos y opera a alta presión, lo que involucra un 20 a un 25% de incremento en costo de la unidad de proceso misma, pero no requiere de una planta de oxígeno. La elección de las dos alternativas depende principalmente de si el productor ya tiene oxígeno, ó si necesita nitrógeno como subproducto. Tal parece que hay una pequeña diferencia entre las dos posibilidades, el costo mayor del proceso de dos pasos puede hacerse a un lado por la diferencia en costo entre aire y oxígeno. Las plantas consisten esencialmente de una batería de reacto-

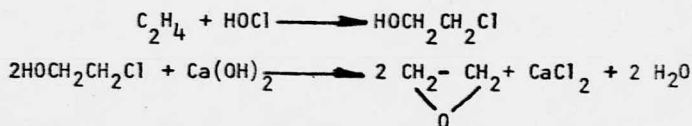
res de oxidación en fase líquida ó vapor, seguida por la separación de los numerosos productos de una planta de fraccionación extremadamente compleja.

Los principales usos del acetaldehído radican en su utilización como materia prima para elaborar: ácido acético, anhídrido acético, 2-etil hexanol, pentaeritritol y una gama muy amplia de otros productos como alcoholes pesados vfa crotonaldehído, acetato de vinilo etc.

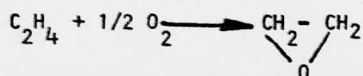
La producción de acetaldehído se inició en 1968 con una planta de 44,000 ton/año en Pajaritos, Ver. Se proyecta producir en el complejo industrial de La Cangrejera 100,000 ton/año.

OXIDO DE ETILENO.

Los dos procesos para elaborar óxido de etileno son: reacción del etileno con ácido hipocloroso y dehidroclorinación de la clorhidrina resultante con hidróxido de calcio para formar cloruro de calcio y óxido de etileno.



siendo éste el más antiguo de los dos procesos; el otro proceso es la oxidación directa del etileno.



El proceso de clorinación tiene varias desventajas como son: requere-

rimiento de dos moles de cloro por mol de producto, obtención de productos difíciles de eliminar como el cloruro de calcio y el dicloro dietiléter (clorex) cuyo único mercado es el de los solventes para aceite lubricantes, por último la necesidad de manejar sólidos hace al proceso muy inconveniente.

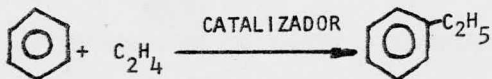
El proceso de oxidación directa usa catalizador de plata, la oxidación es por medio de aire, con el nitrógeno de éste actuando como diluyente. El control de la temperatura es muy importante y se lleva a cabo utilizando un enfriador orgánico. Por lo general el catalizador contiene sólo 10% de plata, si se usara más el rendimiento sería mayor, pero debido a que el servicio de mantenimiento tendría que ser más frecuente se obtendrían altas pérdidas de catalizador.

El uso principal del óxido de etileno radica en la fabricación de glicoles etilénicos, también es usado para elaborar poliglicoles, éteres glicólicos, agentes surfactantes y etanolaminas.

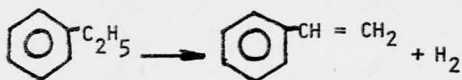
La producción de óxido de etileno se inició en 1972 en la planta de 28,000 ton/año localizada en Pajaritos, Ver.

ESTIRENO.

Para la fabricación de este compuesto, el benceno se somete a alquilación con etileno usando cloruro de aluminio ó con ácido fosfórico como catalizador.



La reacción es llevada a cabo en presencia de cloruro de etilo. El etilbenceno es deshidrogenado para formar estireno.



El estireno en sí es producido usualmente por la deshidrogenación en fase vapor del etilbenceno sobre un catalizador de óxido férrico, con vapor usado como diluyente. Después que los efluentes del reactor son condensados y el agua removida, el estireno crudo se envía a una columna -- donde el benceno y el tolueno obtenidos como subproductos se separan. De esta torre la alimentación no reaccionada es enviada al reactor. Una columna final separa los subproductos pesados que pudieron haberse formado por polimerización.

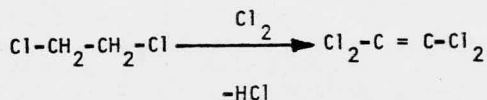
La integración, se ha encontrado que es la regla en la producción de estireno, debido a ésto, en el presente estudio se tomó como un solo paso el proceso total, es decir, de etileno a estireno directamente. Otro motivo por el cual se hizo ésto último, fué que no se encontró otro uso importante del etilbenceno.

Este producto se consume principalmente como materia prima para elaborar resinas sintéticas, tales como: poliestireno, ABS, SAN, resinas intercambiadores de iones y para elaborar hules sintéticos como el hule -- SBR, latex estireno-butadieno etc.

Se produce en nuestro país desde 1967 en la planta de 30,000 ton/año

en la refinería de Cd. Madero, Tamps.

PERCLOROETILENO.



En un principio el percloroetileno era obtenido por medio del acetileno pero el proceso partiendo de 1,2 dicloroetano ha ido ganando aceptación. La clorinación a alta temperatura produce principalmente percloroetileno y tetracloruro de carbono, la mayoría de otros subproductos clorados son recirculados al reactor.

El producto final puede ser ajustado dentro de amplios límites ya que, el tetracloruro de carbono y los demás productos clorados, pueden ser recirculados a extinción ó recuperados como subproductos.

Una gran parte de la producción de percloroetileno es utilizada para lavado de prendas de vestir en seco. El resto es utilizado como solvente para elastómeros y como intermediario para fabricar fluorocarbonos - - 113 y 114. La planta de este solvente, pertenece al complejo de derivados clorados de Pajaritos, Ver.; cuenta con una capacidad para producir 8,000 ton/año, encontrándose en fase de arranque.

CLORURO DE VINILO.



Este proceso consiste en la descomposición térmica del 1,2 dicloroe-

tano para obtener cloruro de vinilo. La alimentación debe ser precalentada ya que la reacción es endotérmica. Después de separar el ácido clorhídrico, el efluente del reactor es fraccionado para recircular los pesados al reactor de descomposición térmica.

Este producto se utiliza principalmente para la fabricación de cloruro de polivinilo (PVC). Se elabora en el país desde 1967 en la planta del grupo de derivados clorados del etileno y a partir de 1973 en una segunda planta con una capacidad de 70,000 ton/año.

COLORURO DE POLIVINILO.

La mayoría del PVC es fabricado por polimerización en emulsión ó - - bien en suspensión. La polimerización en emulsión consiste en llevar a cabo la reacción en un medio acuoso en la presencia de un agente surfactante activo. La polimerización en suspensión consiste en la dispersión del monómero en agua por medio de agitación mecánica violenta.

Esta polimerización es realizada discontinuamente, sus ventajas son que los gránulos de polímero obtenidos están prácticamente libres de impurezas y requiere de menores costos de inversión y menos servicios auxiliares. La polimerización por emulsión es fácil de realizarse continuamente, con menos costos de mano de obra. El producto es más fácil de plastificar y procesar debido a la presencia de agentes emulsificantes que actúan como lubricantes.

Las ventajas del PVC son su retardancia a la flama, buenas propieda-

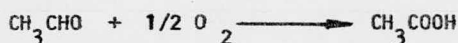
des eléctricas y resistencia química; en el lado negativo, el PVC es susceptible al calor y a la luz ultravioleta. Para PVC plastificado, los estabilizadores térmicos pueden ser de varios tipos, siendo los más importantes, plomo, cadmio y sales de ácidos orgánicos y para PVC rígido las sales de estaño son ideales. Los benzotriazoles y benzofenonas son los más satisfactorios estabilizadores contra la degradación ultravioleta.

Sus principales usos finales compiten con los del polietileno de baja densidad: empaques desechables, artículos decorativos, interiores de automóviles, recubrimiento de cables y alambres, tuberías, accesorios de la construcción y numerosas aplicaciones domésticas.

Actualmente contamos en nuestro país con una capacidad instalada de 69,300 ton/año.

ACIDO ACETICO.

El proceso más utilizado en la fase líquida de acetaldehído usando aire ó bien, oxígeno:



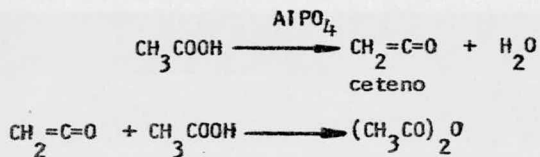
El oxígeno ó el aire junto con el acetaldehído son burbujeados a través de ácido acético líquido. Del efluente líquido del reactor es separado el acetaldehído no reaccionado por la corriente principal de aire, la cual lo lleva de regreso al reactor, a su vez, una corriente de aire saturado con ácido acético pasa a través de un condensador donde la mayoría del producto se condensa y se envía a una torre de fraccionación. Los fon

dos de este saturador lavan el acetaldehído en el efluente gaseoso del reactor al cual se regresa.

En nuestro país contamos con una capacidad instalada para producir 42,600 ton/año.

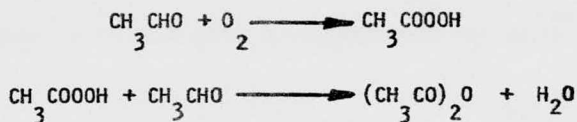
ANHIDRIDO ACETICO.

Existen dos procesos principales para la elaboración de anhídrido acético, el primero por absorción de ceteno en ácido acético tan pronto como éste abandona el reactor.



Después de que se ha obtenido el ceteno, el agua es removida por condensación a baja temperatura, cuando sucede esto, el ceteno es absorbido en una solución concentrada de anhídrido acético.

El segundo proceso consiste en la oxidación de acetaldehído vía ácido peracético.



En todas las reacciones de acetilación se involucran anhídrido acético, como subproductos obtendremos ácido acético, lo cual significa

que por cada mol de ácido usado en la forma de anhídrido acético, una mol de ácido debe ser recobrada y es usualmente reciclada al reactor de cete-
no.

Los usos más importantes del anhídrido acético están en las ya men-
cionadas reacciones de acetilación y en la manufactura de ésteres de la -
celulosa como ácido acetilsalicílico y acetato de vinilo.

La capacidad instalada de este producto es de 24,500 ton/año.

ACETATO DE CELULOSA.

En el proceso de obtención del acetato de celulosa puede ser utiliza-
da borra de algodón ó pulpa de madera, que son acetiladas para formar una
substancia usada en la fabricación de fibras.

También puede ser utilizado para fabricar polvos de moldeo con la a-
dición de plastificantes y otros aditivos. Comparado con el rayón, el - -
cual es simplemente celulosa regenerada, la manufactura de acetato invo-
lucra modificaciones químicas en la molécula de celulosa. El material u-
sualmente utilizado en fibras corresponde al diacetato de celulosa. En el
proceso usual, la celulosa primero es completamente acetilada y después -
parcialmente saponificada con ácido sulfúrico para regresar al diacetato
de celulosa ó al monoaceteto según se requiera.

Aparte de la fabricación de fibras, el acetato de celulosa tiene o-
tros usos como son: mecha para filtro de cigarrillo principalmente, cin-

tas magnéticas etc. El acetato de celulosa es una materia prima relativamente cara para la fabricación de fibras, así como también en los polvos para moldeo comparado con el poliestireno de alto impacto, lo que hace -- que en México su principal uso sea en la elaboración de mecha para filtro de cigarrillo. La capacidad instalada de acetato de celulosa es de 20,000 ton/año.

ESTERES DEL ACIDO ACETICO.

El ácido acético es esterificado en presencia de un catalizador ácido activo, usualmente ácido sulfúrico, para formar en el respectivo acetato.

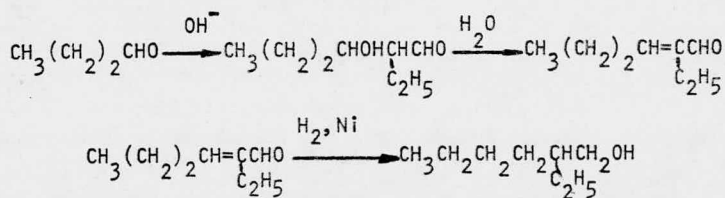


El acetato de etilo, por ejemplo, se hace por la reacción del ácido acético y etanol. El éster húmedo es purificado por fraccionación, y el -alcohol, después de quitarle al agua es regresado a la etapa de esterificación.

Los ésteres del ácido acético son principalmente usados como solventes. El acetato de metilo es utilizado en la rama de pinturas como removedor. El acetato de etilo es un solvente de bajo punto de ebullición para barnices y lacas. Los acetatos de butilo son solventes populares de punto de ebullición medio usados en recubrimientos especiales. Se cuenta con una capacidad instalada de 14,250 ton/año para producir estos derivados del ácido acético.

2 ETIL HEXANOL.

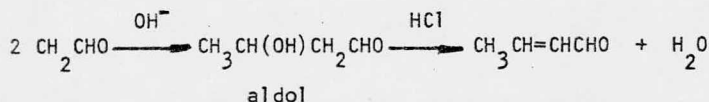
Es obtenido por la aldolización de n-butiraldehído y subsecuente - hidrogenación.



Su uso principal radica en la elaboración de ftalato de dioctilo, - que es el plastificante más empleado para el PVC. También su utiliza para elaborar el acrilato de 2-etil hexilo y ácido 2-etil hexoico. En nuestro país contamos con 18,000 ton/año de capacidad instalada para producir 2-etil hexanol.

CROTONALDEHIDO.

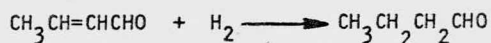
El crotonaldehído es obtenido por condensación de dos moles de acetaldehído y subsecuente deshidratación.



Las dos reacciones son llevadas a cabo en reactores separados, después de que un sistema de fraccionación remueve el acetaldehído no reaccionado y los productos de la condensación pesada, el principal uso del crotonaldehído así obtenido es para la preparación de n-butiraldehído. La capacidad instalada actualmente de este producto es de 24,000 ton/año.

N-BUTIRALDEHIDO.

El principal proceso para la obtención de este producto es la hidrogenación parcial de crotonaldehído.



Sus principales usos son como intermediario para producir 2 etil -- hexanol y por hidrogenación n-butanol.

La capacidad instalada de n-butiraldehído es de 16,500 ton/año.

POLIESTIRENO.

La polimerización del estireno puede hacerse, ya sea térmicamente ó en suspensión, en la presencia de un catalizador del tipo del peróxido de benzofl. Las principales propiedades del poliestireno son su relativa baja densidad, es inodoro, esta libre de sabor y toxicidad, tiene -- buenas propiedades ópticas y sobre todo es fácilmente moldeable, tiene estabilidad dimensional. Sus desventajas son su debilidad a los impac-- tos y su pobre resistencia química y es degradable por la luz ultravio-- leta.

Para obtener una mayor resistencia se mezcla con butadieno, creando lo que comunmente se llama poliestireno de alto impacto.

Sus usos finales son: empackado, refrigeración, radio y televisión, -- recipientes domé--sticos, lámparas y señales, juguetes, lentes, tuberías -- etc. obtenidos ya sea por moldeo ó por extrusión. Existe para este pro-- ducto una capacidad instalada de 52,260 ton/año.

HULE SBR.

El hule estireno butadieno (SBR) es el tipo más importante de hule sintético, no obstante el gran desarrollo de los elastómeros con mejores propiedades. Es un copolímero de butadieno y estireno donde la proporción de los dos monómeros es alrededor de 70:30 en peso. La polimerización es realizada a 41°F, formando una suspensión de partículas finas de hule. Después de que la polimerización alcanza el punto deseado, la suspensión es sometida a una operación de flasheo para quitar el butadieno y el líquido es agotado para recobrar el estireno. El látex es enviado a tanques de asentamiento de donde sale después a otros tanques donde es solidificado en presencia de sales de ácidos inorgánicos. El producto así obtenido es filtrado y lavado para quitarle todo el material inorgánico y finalmente secado y empacado.

Esta polimerización a baja temperatura (hule frío) mejora las cualidades del producto ya que se obtienen cadenas más largas y de mayor uniformidad. La plastificación puede hacerse por medio de un aceite; - en éste intervienen otros materiales como son antioxidantes, un peróxido que actúa como iniciador de radicales libres, emulsificadores, estabilizadores como la hidroquinona, T-dodecilmercaptano el cual es usado para regular la distribución y longitud de las cadenas.

El uso principal del SBR está en las llantas y ruedas para vehículos; otros usos son los que tiene la industria del calzado, las espumas y algunas refacciones mecánicas.

En nuestro país se inició su elaboración en 1967 contándose actualmente con una capacidad instalada de 74,500 ton/año.

LATEX ESTIRENO BUTADIENO.

La espuma de hule látex es una gran aplicación del SBR en forma de látex, que compete con otras espumas sintéticas como el vinilo y el uretano.

Algunas de sus aplicaciones principales son como bajo alfombras y en la saturación de papel, acabados textiles y usos domésticos varios. Su producción se inició en México en 1969 contándose actualmente con una capacidad instalada de 4,125 ton/año.

RESINAS ABS.

Las resinas ABS son las más importantes de la familia de los plásticos que tienen propiedades como alto punto de reblandecimiento, resistencia a la tensión y alta tenacidad que permiten que compitan en mercados donde el PVC, el estireno y las poliolefinas son excluidas.

Hay tres formas de fabricar las resinas ABS:

- a) Por copolimerización de estireno con un copolímero de acrilonitrilo - butadieno.
- b) Por mezclado de copolímeros de acrilonitrilo - butadieno y acri-

lonitrilo - estireno.

- c) Por la inserción de estireno y acrilonitrilo sobre una matriz de butadieno preformada.

Las resinas ABS son copolímeros de 50% estireno, 25% butadieno y - 25% de acrilonitrilo en peso. Son comunmente mezcladas de acuerdo a cada uso final. Sus usos principales son partes para la industria automotriz como son los tableros y partes plateadas plásticas, en la refrigeración doméstica, aparatos eléctricos menores, tuberías donde no se puede usar PVC, accesorios de equipos textiles como son bobinas y carretes etc. La capacidad instalada para producir resinas ABS en nuestro país es de 16,600 ton/año.

GLICOLES ETILENICOS.

Los glicoles etilénicos son producidos por una hidratación de óxido de etileno a alta presión y temperatura.



Los glicoles mayores obtenidos en este proceso representan el 8 ó el 9% del monoetilen glicol producido.

El monoetilen glicol se utiliza principalmente para la elaboración de polietilen tereftalato, que es paso intermedio para la fabricación de fibra poliéster. Se utiliza también para fabricar resinas poliéster y -

polietilén glicoles, como solvente para pinturas y esmaltes y como componente de fluidos hidráulicos.

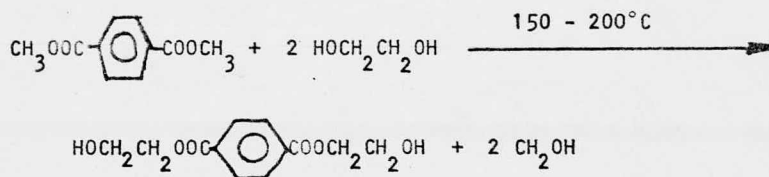
El dietilén glicol tiene su principal aplicación como anticongelante, como agente de extracción de hidrocarburos aromáticos y como fluido hidráulico. El trietilén glicol se utiliza para elaborar plastificantes, como humectante y como solvente.

Los glicoles etilénicos se fabrican en el país desde 1967 contándose con una capacidad instalada de 60,000 ton/año.

POLIETILEN TEREFALATO.

La producción de este material se puede basar en el uso como materia prima del dimetil tereftalato (DMT) ó del ácido tereftálico (TPA).

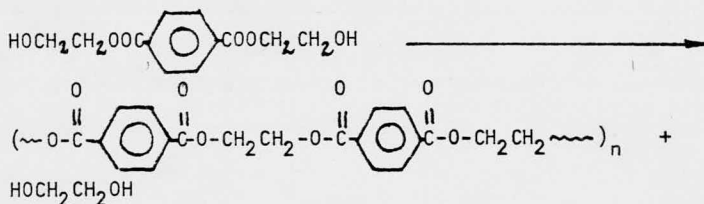
Si se parte del DMT, el polietilén tereftalato puede ser obtenido por policondensación continua con etilén glicol para dar principalmente bis(hidroxietil)tereftalato.



Se usa de un 5 a un 10% en mol de etilenglicol en exceso y el metanol se produce y remueve por fraccionación. Acetatos, carbonatos y óxidos de zinc, calcio, magnesio, manganeso y antimonio se usan con frecuen

cia como catalizadores para la transesterificación en cantidades de 0.05 a 0.1% en peso de DMT.

Una vez que se obtiene bis(hidroxietil)tereftalato, la presión del sistema se baja alrededor de 0.5 mm de Hg y la temperatura se eleva a -- 280°C, sucediéndose la polimerización rápidamente.

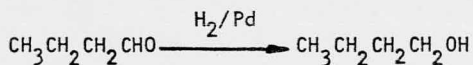


Partiendo del TPA el proceso es prácticamente el mismo, sólo que no se obtiene metanol como subproducto.

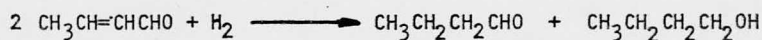
El principal uso del polietilen tereftalato radica en la fabricación de fibra poliéster y película de polietilén tereftalato. Esta fibra se comenzó a producir en 1965 y se cuenta en la actualidad con una capacidad instalada para producir 86,650 ton/año de polietilen tereftalato.

N-BUTANOL.

Se produce por hidrogenación de butiraldehido:



Y también en reacción paralela a la producción de butiraldehido.

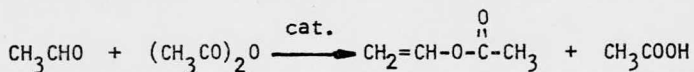


El butanol se utiliza principalmente en la fabricación de ésteres, acetato de n-butilo, plastificantes, glicóéteres, resinas amino, solventes etc.

La capacidad instalada de este producto es de 6,750 ton/año.

ACETATO DE VINILO.

En México se producen a partir de acetaldehído por el proceso:

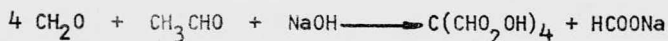


Como en todos los procesos de acetilación con anhídrido acético obtenemos ácido acético como subproducto.

El único uso final del acetato de vinilo es la polimerización para producir acetato de polivinilo que tiene múltiples aplicaciones como son pinturas, adhesivos, tratamientos textiles y para papel, copolimeriza -- con el cloruro de vinilo etc. La capacidad instalada para este producto es de 13,200 ton/año.

PENTAERITRITOL.

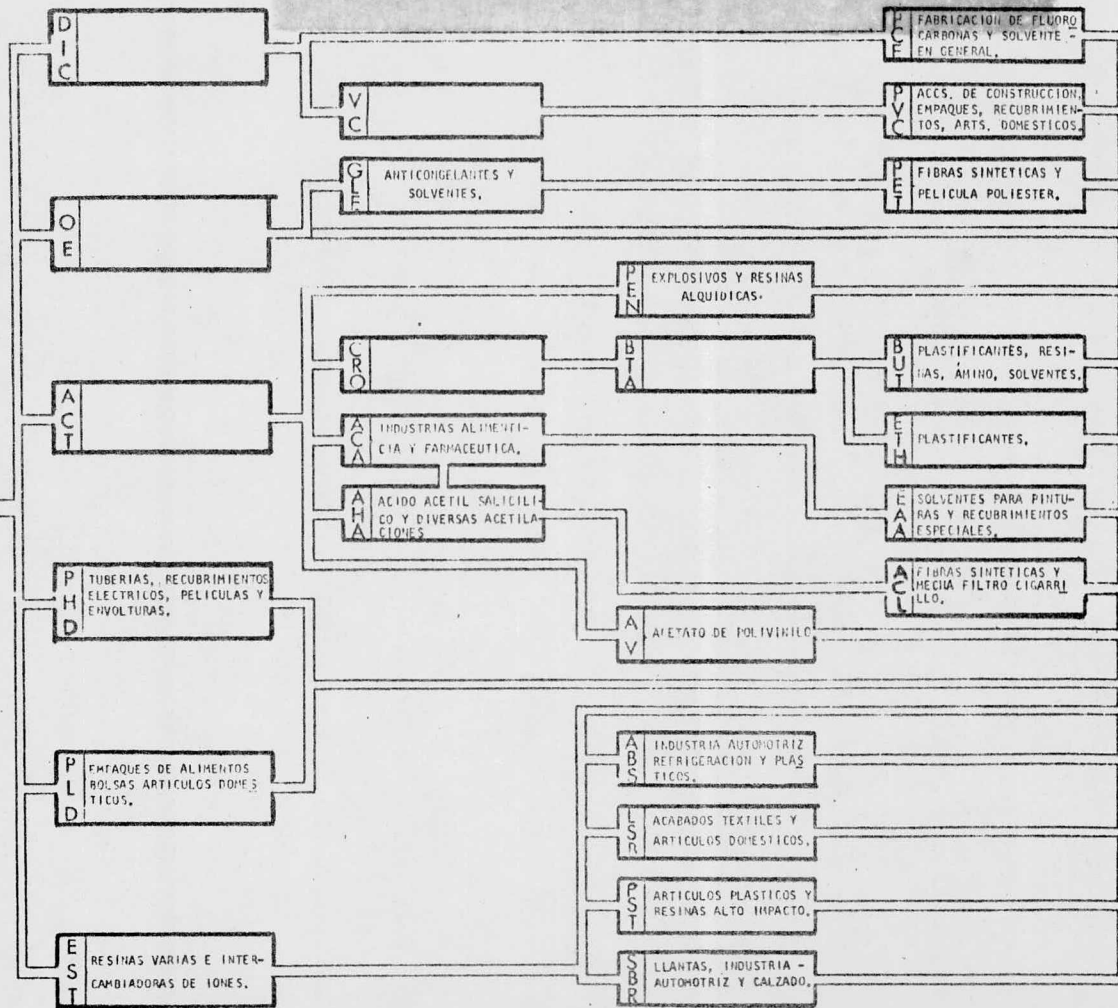
El proceso de obtención de este producto se basa en la condensación de formaldehído con acetaldehído en presencia de un catalizador de carácter básico.



Después de la condensación, los subproductos se eliminan por una larga serie de pasos de purificación. Pasando la primera fase de purificación, la cristalización-disolución-filtración, el producto se disuelve en agua caliente y se pasa a través de una etapa de purificación por intercambio de iones para eliminar el ácido fórmico producido en la reacción. A continuación se efectúan los siguientes pasos: cristalización al vacío, redisolución, filtración y secado.

El uso final más importante de este producto es para manufactura de resinas alquídicas y de explosivos. No obstante que existe un permiso petroquímico otorgado no se cuenta con ninguna planta instalada para este producto.

MUNDO



los usos destinados a productos no comburentes.

- DIC 1,2 Dicloroetano
- OE Oxido de etileno
- ACT Acetaldehido
- PHD Polietileno alta densidad
- PLD Polietileno baja densidad
- EST Estireno
- VC Cloruro de vinilo
- GLE Glicoles etilénicos
- CRO Crotonaldehido
- ACA Acido acético
- AHA Anhídrido acético
- PEN Pentaeritritol
- BTA Butiraldehido
- AV Acetato de vinilo
- ABS Resinas ABS
- LSB latex estireno butadieno
- PST Poliestireno
- SBR Hule SBR
- PCE Percloroetileno
- PVC Policloruro vinilo
- PET Polietilenterftalato
- BUT Butanol
- ETH 2-Etil hexanol
- ACL Acetato celulosa
- EAA Esteres ácido-acético

FIGURA No. 3

En la figura no. 1 se muestran los productos incluidos en el modelo, tratándose de los más importantes derivados del etileno en nuestro país.

Este modelo dinámico tiene un horizonte de planeación de 16 años divididos en dos periodos de 3 años y dos de 5, siendo el primero de 1976-1978, el segundo de 1979-1981, el tercero de 1982-1986 y el cuarto de -- 1987-1991. Ciertamente para un periodo tan largo la incertidumbre respecto a la tecnología y el mercado es muy grande, pero si el modelo se usa en forma continua se pueden hacer nuevas corridas cuando se disponga de nueva información y los resultados del modelo evolucionarán de acuerdo a la nueva tecnología y a los cambios en el mercado.

Los resultados básicos del modelo para cada producto y periodo son:

- a) Capacidad total instalada.
- b) Incremento de capacidad respecto al periodo anterior.
- c) Producción.
- d) Importación.
- e) Exportación.

La optimización encuentra el nivel de las variables que minimiza la diferencia entre gastos totales e ingresos de las exportaciones.

Para tomar en cuenta las economías de escala, hubo necesidad de usar variables de tipo binario que modelan la decisión de instalar ó no una -

nueva planta para cada producto en cada periodo. La capacidad de la planta se ha manejado como una variable continua que no debe ser menor a un mínimo económicamente aceptable.

Todo el dinero (GEXP, GIMP, CPD, GINV) involucrado en el modelo es - manejado en miles de pesos a valor 1976.

Para la solución numérica del problema se usó un programa de biblioteka, el sistema Apex-III de programación matemática que tiene capacidad para resolver problemas de programación mixta en base al método de "branch and bound".

El modelo tiene 673 variables continuas y 108 variables binarias. - La descripción matemática se presenta a continuación:

Sean:

- X_{jt} = producción del producto j en el periodo t .
- W_{jkt} = cantidad de j usada para producir k - en el periodo t .
- Y_{jt} = incremento de capacidad de producción de j en el periodo t .
- Z_{jt} = variable binaria (1,0) que define si - se instala ó no una planta para producir j en el periodo t .
- $j = 1, \dots, N$ número total de productos.
- $t = 1, \dots, T$ horizonte de planeación.

Restricciones del modelo para un producto cualquiera j en el periodo t .

Producción:

$$\text{producción del producto } j = \left[\begin{array}{l} \text{rendimiento con el} \\ \text{que se produce } j \text{ a} \\ \text{partir de } k. \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \text{cantidad de } k \\ \text{usada para pro} \\ \text{ducir } j. \end{array} \right]$$

$$X_{jt} = R_{kt} W_{kjt}$$

Balance general de j:

$$\left[\text{producción} \right] + \left[\text{importación} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{demanda en el mercado + exportación} \\ \text{+ cantidad usada para otros produc-} \\ \text{tos del modelo.} \end{array} \right]$$

$$X_{jt} + I_{jt} = D_{jt} + E_{jt} + \sum_k W_{kjt}$$

Restricciones de capacidad:

$$\left[\begin{array}{l} \text{capacidad de produc} \\ \text{ción de } j \text{ en el pe-} \\ \text{riodo } t. \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{capacidad de} \\ \text{producción de} \\ j \text{ en } (t-1) \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{incremento de capaci-} \\ \text{dad para producir } j - \\ \text{en el periodo } t. \end{array} \right]$$

$$CAP_{jt} = CAP_{j(t-1)} + Y_{jt}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{capacidad instalada para pro-} \\ \text{ducir } j \text{ en el periodo } t. \end{array} \right] \geq \left[\begin{array}{l} \text{producción de } j \text{ en} \\ \text{el periodo } t. \end{array} \right]$$

$$CAP_{jt} \geq X_{jt}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{incremento de capacidad de pro-} \\ \text{ducción de } j \text{ en el periodo } t. \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{mínima capacidad -} \\ \text{económica.} \end{array} \right]$$

$$Y_{jt} = (\text{CAPMIN}_{jt}) (Z_{jt})$$

Para evitar soluciones anormales, es necesario garantizar que cuando Z_{jt} sea igual a cero, Y_{jt} sea igual a cero, esto se consigue con la siguiente restricción.

$$Y_{jt} = (\text{CAPMAX}_{jt}) (Z_{jt})$$

Donde CAPMAX_{jt} es un número muy grande tal que se tenga la garantía de que el valor óptimo de Y_{jt} será menor que él.

Los términos que se incluyen en la función objetivo para el producto j en el período t son:

$$\begin{aligned} & \left[\text{costos de producción} \right] && (\text{CPD}_{jt}) (X_{jt}) \\ & + \\ & \left[\text{gastos por importación} \right] && (\text{GIMP}_{jt}) (\text{IMP}_{jt}) \\ & - \\ & \left[\text{ingresos por exportación} \right] && (\text{GEXP}_{jt}) (\text{EXP}_{jt}) \\ & + \\ & \left[\text{gastos de inversión por} \right. && (\text{GINV}_{jt}) (Z_{jt}) \\ & \quad \left. \text{incremento de capacidad} \right. \\ & \quad \left. \text{del producto } j \text{ en el pe} \right. \\ & \quad \left. \text{riodo } t. \right] \end{aligned}$$

A continuación se enlistan las ecuaciones desarrolladas para cada uno de los productos.

ETILENO: ET

$$ET_t + IMPET_t = DEMET_t + EXPET_t + ETDIC_t + ETPHD_t + ETPLD_t + EACT_t + ETOE_t + ETEST_t$$

$$CAPET_t = CAPET_{(t-1)} + INCAPET_t$$

$$Z ET_t (CAPMIN ET_t) \leq INCAPET_t$$

$$Z ET_t (CAPMAX ET_t) \geq INCAPET_t$$

$$ET_t \leq CAPET_t$$

1,2 DICLOROETANO: DIC

$$DIC_t + IMPDIC_t = DEMDIC_t + EXPDIC_t + DICVC_t + DICPCE_t$$

$$DIC_t = ETDIC_t R$$

$$CAPDIC_t = CAPDIC_{(t-1)} + INCAPDIC_t$$

$$Z DIC_t (CAPMIN DIC_t) \leq INCAPDIC_t$$

$$Z DIC_t (CAPMAX DIC_t) \geq INCAPDIC_t$$

$$DIC_t \leq CAPDIC_t$$

POLIETILENO ALTA DENSIDAD: PHD

$$PHD_t + IMPPHD_t = DEMPHD_t + EXPPHD_t$$

$$PHD_t = ETPHD_t R$$

$$CAPPHD_t = CAPPHD_{(t-1)} + INCAPPHD_t$$

$$Z PHD_t (CAPMIN PHD_t) \leq INCAPPHD_t$$

$$Z PHD_t (CAPMAX PHD_t) \geq INCAPPHD_t$$

$$PHD_t \leq CAPPHD_t$$

POLIETILENO BAJA DENSIDAD: PLD

$$PLD_t + IMPPLDT = DEMPLD_t + EXPPLD_t$$

$$PLD_t = ETPLD_t \quad R$$

$$CAPPLD_t = CAPPLD_{(t-1)} + INCAPPLD_t$$

$$Z \quad PLD_t (CAPMIN \quad PLD_t) \leq INCAPPLD_t$$

$$Z \quad PLD_t (CAPMAX \quad PLD_t) \geq INCAPPLD_t$$

$$PLD_t \leq CAPPLD_t$$

ACETALDEHIDO: ACT

$$ACT_t + IMPACT_t = DEMACT_t + ACTACA_t + ACTAHA_t + ACTPEN_t +$$

$$ACTCRO_t + EXPACT_t + ACTAV_t$$

$$ACT_t = EACT_t \quad R$$

$$CAPACT_t = CAPACT_{(t-1)} + INCAPACT_t$$

$$Z \quad ACT_t (CAPMIN \quad ACT_t) \leq INCAPACT_t$$

$$Z \quad ACT_t (CAPMAX \quad ACT_t) \geq INCAPACT_t$$

$$ACT_t \leq CAPACT_t$$

OXIDO DE ETILENO: OE

$$OE_t + IMPOE_t = DEMOE_t + OEGLE_t + EXPOE_t$$

$$OE_t = ETOE_t \quad R$$

$$CAPOE_t = CAPOE_{(t-1)} + INCAPOE_t$$

$$Z \quad OE_t (CAPMIN \quad OE_t) \leq INCAPOE_t$$

$$Z \quad OE_t (CAPMAX \quad OE_t) \geq INCAPOE_t$$

$$OE_t \leq CAPOE_t$$

ESTIRENO: EST

$$EST_t + IMPEST_t = DEMEST_t + ESTSBR_t + ESTABS_t + ESTLSB_t + \\ ESTPST_t + EXPEST_t$$

$$EST_t = EEST_t R$$

$$CAPEST_t = CAPEST_{(t-1)} + INCAPEST_t$$

$$Z EST_t (CAPMIN EST_t) \leq INCAPEST_t$$

$$Z EST_t (CAPMAX EST_t) \geq INCAPEST_t$$

$$EST_t \leq CAPEST_t$$

PERCLOROETILENO: PCE

$$PCE_t + IMPPCE_t = DEMPCE_t + EXPPCE_t$$

$$PCE_t = DPCPE_t R$$

$$CAPPCE_t = CAPPCE_{(t-1)} + INCAPPCE_t$$

$$Z PCE_t (CAPMIN PCE_t) \leq INCAPPCE_t$$

$$Z PCE_t (CAPMAX PCE_t) \geq INCAPPCE_t$$

$$PCE_t \leq CAPPCE_t$$

CLORURO DE VINILO: VC

$$VC_t + IMPVC_t = DEMVC_t + VCPVC_t + EXPVC_t$$

$$VC_t = DVC_t R$$

$$CAPVC_t = CAPVC_{(t-1)} + INCAPVC_t$$

$$Z VC_t (CAPMIN VC_t) \leq INCAPVC_t$$

$$Z VC_t (CAPMAX VC_t) \geq INCAPVC_t$$

$$VC_t \leq CAPVC_t$$

POLICLORURO DE VINILO: PVC

$$PVC_t + IMPVVC_t = DEMPVC_t + EXPPVC_t$$

$$PVC_t = VCPVC_t R$$

$$CAPPVC_t = CAPPVC_{(t-1)} + INCAPPVC_t$$

$$Z PVC_t (CAPMIN PVC_t) \leq INCAPPVC_t$$

$$Z PVC_t (CAPMAX PVC_t) \geq INCAPPVC_t$$

$$PVC_t \leq CAPPVC_t$$

ACIDO ACÉTICO: ACA

$$ACA_t + IMPACA_t = DEMACA_t + ACAEAA_t + ACAAHA_t + EXPACA_t$$

$$ACA_t = ACTACA_t R$$

$$CAPACA_t = CAPACA_{(t-1)} + INCAPACA_t$$

$$Z ACA_t (CAPMIN ACA_t) \leq INCAPACA_t$$

$$Z ACA_t (CAPMAX ACA_t) \geq INCAPACA_t$$

$$ACA_t \leq CAPACA_t$$

ESTERES DEL ACIDO ACETICO: EAA

$$EAA_t + IMPEAA_t = DEMEAA_t + EXPEAA_t$$

$$EAA_t = ACAEAA_t R$$

$$CAPEAA_t = CAPEAA_{(t-1)} + INCAPEAA_t$$

$$Z EAA_t (CAPMIN EAA_t) \leq INCAPEAA_t$$

$$Z EAA_t (CAPMAX EAA_t) \geq INCAPEAA_t$$

$$EAA_t \leq CAPEAA_t$$

ACETATO DE CELULOSA: ACL

$$ACL_t + IMPACL_t = DEMACL_t + EXPACL_t$$

$$ACL_t = AHAACL_t R$$

$$CAPACL_t = CAPACL_{(t-1)} + INCAPACL_t$$

$$Z ACL_t (CAPMIN ACL_t) \leq INCAPACL_t$$

$$Z ACL_t (CAPMAX ACL_t) \geq INCAPACL_t$$

$$ACL_t \leq CAPACL_t$$

ANHIDRIDO ACETICO: AHA

$$AHA_1(t) + AHA_2(t) + IMPAHA_t = DEMAHA_t + AHAACL_t + EXPAHA_t$$

$$AHA_1(t) = ACTAHA_{t1} R_1$$

$$AHA_2(t) = ACAAHA_{t2} R_2$$

$$CAPAHA_t = CAPAHA_{(t-1)} + INCAPAHA_1(t) + INCAPAHA_2(t)$$

$$Z AHA_1(t) (CAPMIN_1 AHA_t) \leq INCAPAHA_1(t)$$

$$Z AHA_2(t) (CAPMIN_2 AHA_t) \leq INCAPAHA_2(t)$$

$$Z AHA_1(t) (CAPMAX_1 AHA_t) \geq INCAPAHA_1(t)$$

$$Z AHA_2(t) (CAPMAX_2 AHA_t) \geq INCAPAHA_2(t)$$

$$AHA_t \leq CAPAHA_t$$

2 ETIL HEXANOL: ETH

$$ETH_t + IMPETH_t = DEMETH_t + EXPETH_t$$

$$ETH_t = BTAETH_t R$$

$$CAPETH_t = CAPETH_{(t-1)} + INCAPETH_t$$

$$Z \text{ ETH}_t (\text{CAPMIN ETH}_t) \leq \text{INCAPETH}_t$$

$$Z \text{ ETH}_t (\text{CAPMAX ETH}_t) \geq \text{INCAPETH}_t$$

$$\text{ETH}_t \leq \text{CAPETH}_t$$

PENTAERITRITOL: PEN

$$\text{PEN}_t + \text{IMPPEN}_t = \text{DEMPEN}_t + \text{EXPPEN}_t$$

$$\text{PEN}_t = \text{ACTPEN}_t R$$

$$\text{CAPPEN}_t = \text{CAPPEN}_{(t-1)} + \text{INCAPPEN}_t$$

$$Z \text{ PEN}_t (\text{CAPMIN PEN}_t) \leq \text{INCAPPEN}_t$$

$$Z \text{ PEN}_t (\text{CAPMAX PEN}_t) \geq \text{INCAPPEN}_t$$

$$\text{PEN}_t \leq \text{CAPPEN}_t$$

CROTONALDEHIDO: CRO

$$\text{CRO}_t + \text{IMPCRO}_t = \text{DEMCRO}_t + \text{CROBTA}_t + \text{EXPCRO}_t$$

$$\text{CRO}_t = \text{ACTCRO}_t R$$

$$\text{CAPCRO}_t = \text{CAPCRO}_{(t-1)} + \text{INCAPCRO}_t$$

$$Z \text{ CRO}_t (\text{CAPMIN CRO}_t) \leq \text{INCAPCRO}_t$$

$$Z \text{ CRO}_t (\text{CAPMAX CRO}_t) \geq \text{INCAPCRO}_t$$

$$\text{CRO}_t \leq \text{CAPCRO}_t$$

BUTIRALDEHIDO: BTA

$$\text{BTA}_t + \text{IMPBTA}_t = \text{DEMBTA}_t + \text{BTABUT}_t + \text{BTAETH}_t + \text{EXPBTA}_t$$

$$\text{BTA}_t = \text{CROBTA}_t R$$

$$\text{CAPBTA}_t = \text{CAPBTA}_{(t-1)} + \text{INCAPBTA}_t$$

$$Z \text{ BTA}_t(\text{CAPMIN BTA}_t) \leq \text{INCAPBTA}_t$$

$$Z \text{ BTA}_t(\text{CAPMAX BTA}_t) \geq \text{INCAPBTA}_t$$

$$\text{BTA}_t \leq \text{CAPBTA}_t$$

N - BUTANOL: BUT

$$\text{BUT}_t + \text{IMPBUT}_t = \text{DEMBUT}_t + \text{EXPBUT}_t$$

$$\text{BUT}_t = \text{BTABUT}_t R$$

$$\text{CAPBUT}_t = \text{CAPBUT}_{(t-1)} + \text{INCAPBUT}_t$$

$$Z \text{ BUT}_t(\text{CAPMIN BUT}_t) \leq \text{INCAPBUT}_t$$

$$Z \text{ BUT}_t(\text{CAPMAX BUT}_t) \geq \text{INCAPBUT}_t$$

$$\text{BUT}_t \leq \text{CAPBUT}_t$$

POLIESTIRENO: PST

$$\text{PST}_t + \text{IMPPST}_t = \text{DEMPST}_t + \text{EXPPST}_t$$

$$\text{PST}_t = \text{ESTPST}_t R$$

$$\text{CAPPST}_t = \text{CAPPST}_{(t-1)} + \text{INCAPPST}_t$$

$$Z \text{ PST}_t(\text{CAPMIN PST}_t) \leq \text{INCAPPST}_t$$

$$Z \text{ PST}_t(\text{CAPMAX PST}_t) \geq \text{INCAPPST}_t$$

$$\text{PST}_t \leq \text{CAPPST}_t$$

HULE SBR: SBR

$$\text{SBR}_t + \text{IMPSBR}_t = \text{DEMSBR}_t + \text{EXPSBR}_t$$

$$\text{SBR}_t = \text{ESTSBR}_t R$$

$$\text{CAPSBR}_t = \text{CAPSBR}_{(t-1)} + \text{INCAPSBR}_t$$

$$Z \text{ SBR}_t(\text{CAPMIN SBR}_t) \leq \text{INCAPSBR}_t$$

$$Z \text{ SBR}_t(\text{CAPMAX SBR}_t) \geq \text{INCAPSBR}_t$$

$$\text{SBR}_t \leq \text{CAPSBR}_t$$

LATEX ESTIRENO BUTADIENO: LSB

$$\text{LSB}_t + \text{IMPLSB}_t = \text{DEM LSB}_t + \text{EXPLSB}_t$$

$$\text{LSB}_t = \text{ESTLSB}_t R$$

$$\text{CAPLSB}_t = \text{CAPLSB}_{(t-1)} + \text{INCAPLSB}_t$$

$$Z \text{ LSB}_t(\text{CAPMIN LSB}_t) \leq \text{INCAPLSB}_t$$

$$Z \text{ LSB}_t(\text{CAPMAX LSB}_t) \geq \text{INCAPLSB}_t$$

$$\text{LSB}_t \leq \text{CAPLSB}_t$$

RESINAS ABS: ABS

$$\text{ABS}_t + \text{IMPABS}_t = \text{DEMABS}_t + \text{EXPABS}_t$$

$$\text{ABS}_t = \text{ESTABS}_t R$$

$$\text{CAPABS}_t = \text{CAPABS}_{(t-1)} + \text{INCAPABS}_t$$

$$Z \text{ ABS}_t(\text{CAPMIN ABS}_t) \leq \text{INCAPABS}_t$$

$$Z \text{ ABS}_t(\text{CAPMAX ABS}_t) \geq \text{INCAPABS}_t$$

$$\text{ABS}_t \leq \text{CAPABS}_t$$

GLICOLES ETILENICOS: GLE

$$\text{GLE}_t + \text{IMPGLE}_t = \text{DEMGLE}_t + \text{GLEPET}_t + \text{EXPGLE}_t$$

$$\text{GLE}_t = \text{OEGLE}_t R$$

$$\text{CAPGLE}_t = \text{CAPGLE}_{(t-1)} + \text{INCAPGLE}_t$$

$$Z \text{ GLE}_t(\text{CAPMIN GLE}_t) \leq \text{INCAPGLE}_t$$

$$Z \text{ GLE}_t(\text{CAPMAX GLE}_t) \geq \text{INCAPGLE}_t$$

$$\text{GLE}_t \leq \text{CAPGLE}_t$$

POLIETILEN TEREFALATO: PET

$$\text{PET}_t + \text{IMPPET}_t = \text{DEMPET}_t + \text{EXPPET}_t$$

$$\text{PET}_t = \text{GLEPET}_t R$$

$$\text{CAPPET}_t = \text{CAPPET}_{(t-1)} + \text{INCAPPET}_t$$

$$Z \text{ PET}_t(\text{CAPMIN PET}_t) \leq \text{INCAPPET}_t$$

$$Z \text{ PET}_t(\text{CAPMAX PET}_t) \geq \text{INCAPPET}_t$$

$$\text{PET}_t \leq \text{CAPPET}_t$$

ACETATO DE VINILO: AV

$$\text{AV}_t + \text{IMPAV}_t = \text{DEMAV}_t + \text{EXPAV}_t$$

$$\text{AV}_t = \text{ACTAV}_t R$$

$$\text{CAPAV}_t = \text{CAPAV}_{(t-1)} + \text{INCAPAV}_t$$

$$Z \text{ AV}_t(\text{CAPMIN AV}_t) \leq \text{INCAPAV}_t$$

$$Z \text{ AV}_t(\text{CAPMAX AV}_t) \geq \text{INCAPAV}_t$$

$$\text{AV}_t \leq \text{CAPAV}_t$$

Se ha juzgado importante indicar que las demandas que aparecen en las ecuaciones anteriores (DEM), se refieren exclusivamente a la demanda como producto final, considerando como producto final todos aquellos usos no incluidos en el grupo de productos analizados.

Fueron introducidos al modelo, además, las siguientes restriccio-

nes:

- Se observó que el modelo producía hasta las capacidades máximas, para lo cual se le dió una disponibilidad de etileno.
- Por otra parte al producir demasiado, la mayoría de la cantidad producida la destinaba a la exportación de aquellos productos - que podían significar mayores utilidades, para resolver este -- problema se restringieron las exportaciones en función de la de manda nacional.
- Los precios de importación fueron castigados con el objeto de - favorecer la economía nacional ya que de esta manera se evita - la salida de divisas y obligamos al modelo a instalar plantas - para satisfacer la demanda creando fuentes de trabajo.

a) Conclusiones generales

- Nuestro país cuenta con los recursos naturales necesarios para poder lograr un crecimiento armónico de su industria química, siendo el -- problema de mayor importancia la escasez de capital, que por lo mismo de -- be cuidarse y obtener de él el mayor provecho posible.

- De lo anterior salta a la vista la necesidad de planear la industria química de manera más organizada y eficaz a nivel nacional.

- La rama de la industria de derivados del etileno es dentro del -- contexto de la industria petroquímica una de las mayores posibilidades -- de desarrollo por la gran diversidad de aplicaciones finales que tienen sus productos integrantes.

- La programación mixta aplicada a problemas como el tratado en el presente estudio es de gran utilidad, ya que se ha demostrado aquí que -- teniendo un modelo matemático lo más cercano a la realidad que representa, es posible obtener resultados altamente satisfactorios. Estos resultados se muestran en las figuras 4 a 11. Para la corrida con variables -- continuas escogida para ser analizada se requirió de un tiempo de computación de 63.6 seg., en cambio para la corrida con solo diez variables binarias se utilizó un tiempo de máquina de 995.406 seg..

b) Conclusiones de resultados

Se hará mención de las conclusiones por medio de los bloques de producto.

- Bloque del 1,2- Dicloroetano

Forman parte de esta rama el cloruro de vinilo (VC), el cloruro de -

polivinilo (PVC) y el percloroetileno (PCE). De acuerdo con los datos suministrados al modelo, este elige exportar el 1,2- Dicloroetano en todos los períodos en lugar de incrementar su valor fabricando PVC ó PCE. Por todo lo anterior se deduce que el costo del 1,2- Dicloroetano proporcionado al modelo fué más bajo que el real y que los costos de inversión de plantas para VC, PVC, y PCE quizás fueron estimados con un valor mayor del real.

- Bloque del Oxido de Etileno

Se puede decir que esta rama tiene un crecimiento más ó menos armónico. En el primer período produce demasiado oxido de etileno y lo exporta hasta el límite mayor asignado, en el segundo período instala plantas para producir glicoles etilénicos y de polietilen tereftalato, exportando en ocasiones los tres productos de la rama.

- Bloque del Acetaldehído

Esta rama es la más amplia y difícil de analizar. Se parte de la base de que el modelo no incrementa la capacidad de producción de acetaldehído (ACT). Dicha producción es dedicada a los productos de mayor valor agregado como el acetato de celulosa (ACL) y acetato de vinilo (AV) exportando el primero en grandes cantidades. En la tecnología escogida por el modelo, al acetilar con anhídrido acético (AHA), se forma una mol de ácido acético por mol de anhídrido consumida, por lo cual al producir mucho ACL se tiene a su vez bastante ácido acético que se dedica a fabricar los esteres respectivos (EAA). Con respecto al crotonaldehído (CRO) y al butiraldehído (BTA) no los produce en ningún período por carecer de suficiente acetaldehído, importando los productos finales, n-Butanol (BUT) y 2-Etilhexanol (ETH), para satisfacer la demanda.

- Bloque del Estireno

Esta rama es un buen ejemplo de comportamiento sano y equilibrado - ya que para todos los productos derivados del estireno (EST) incrementa capacidades y exporta cantidades apreciables. La única excepción lo es el poliestireno (PST) ya que en el último período se hace necesaria la importación para satisfacer la demanda. La cantidad no fué lo suficientemente amplia en los requerimientos para instalar una planta de este producto.

- Polietilenos

Esta rama se dedica a producir , satisfacer la demanda y a exportar sin representar ningún problema especial.

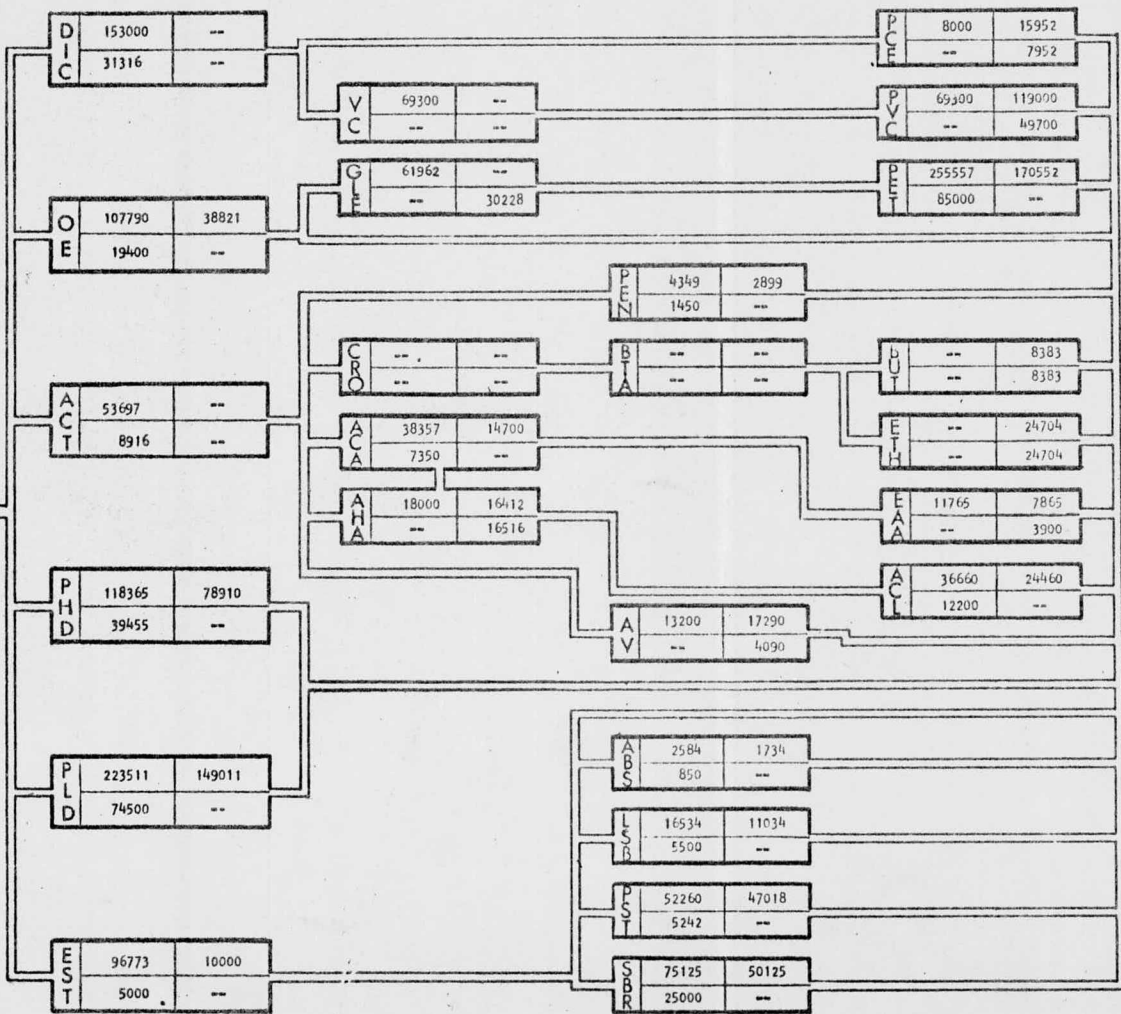
c) Recomendaciones

- Es necesaria la creación de un organismo mixto, con la iniciativa privada y el gobierno, que se dedique entre sus variadas funciones a ordenar y unificar criterios y acciones de planeación y desarrollo industrial que redunden en provecho del país.

- La única limitante para la utilización de la programación mixta es el tiempo de computación requerido, se recomienda a las personas con amplias posibilidades de tiempo de máquina, que utilicen la técnica de la programación mixta para resolver sus problemas.

- De todas las ramas estudiadas se recomienda especial atención para la rama del acetaldehído por considerarse la más importante y la de mayores aplicaciones finales.

MAYO



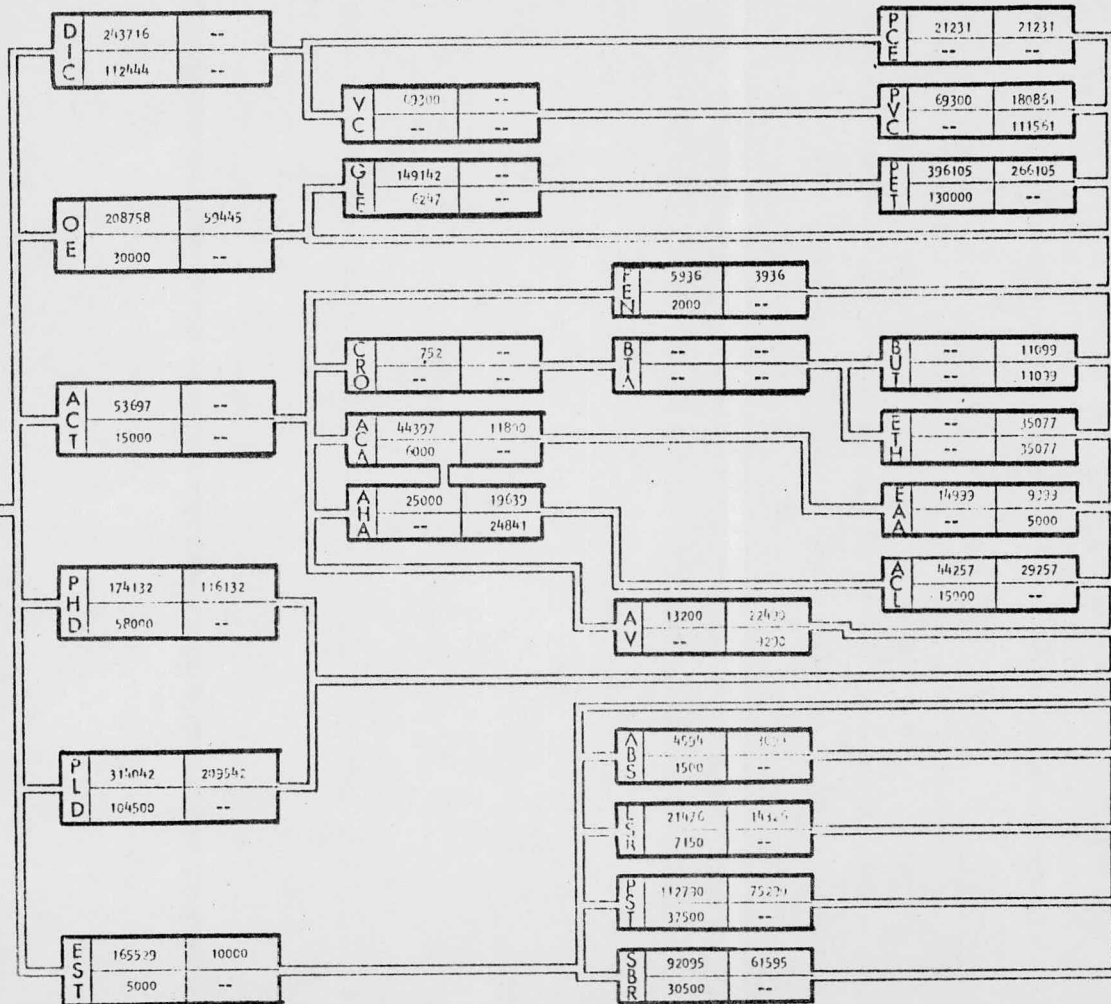
ter. PERIODO
VARIABLES CONTINUAS

P _o Cd	Producc.		Demanda	
	Export.	Import.	Export.	Import.

- DIC 1,2 Dicloroetano
- OE Oxido de etileno
- ACT Acetaldehido
- PHD Polietileno alta densidad
- PLD Polietileno baja densidad
- EST Estireno
- VC Cloruro de vinilo
- GLE Glicoles etilénicos
- CRO Crotonaldehido
- ACA Acido acético
- AHA Anhidrido acetico
- PEN Pentaeritritol
- BTA Butiraldehido
- AV Acetato de vinilo
- ABS Resinas ABS
- LSB Látex estireno butadieno
- PST Poliestireno
- SBR Hule SBR
- PCE Percloroetileno
- PVC Policloruro vinilo
- PET Polietilintereftalato
- BUT Butanol
- ETH 2-Etil hexanol
- ACL Acetato celulosa
- EAA Esteres ácido-acética

FIGURA No. 4

UNIZO



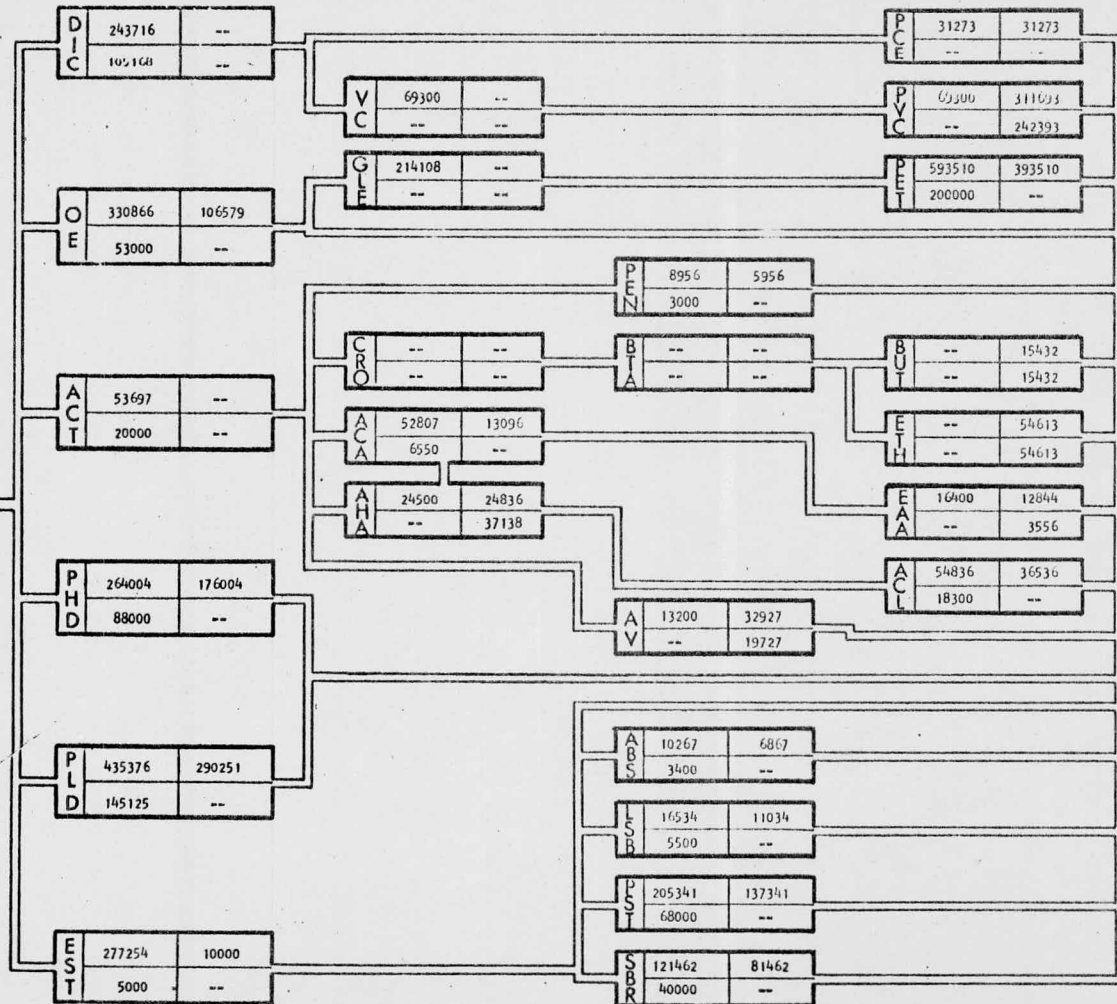
2do. PERIODO
VARIABLES CONTINUAS

P. O.	Producc.	Demanda
	Export.	Import.

DIC 1,2 Dicloroetano
 OE Oxido de etileno
 ACT Acetaldehido
 PHD Polietileno alta densidad
 PLD Polietileno baja densidad
 EST Estireno
 VC Cloruro de vinilo
 GLE Glicoles etilénicos
 CRO Crotonaldehido
 ACA Acido acético
 AHA Anhidrido acético
 PEN Pentaoeritritol
 BTA Butiraldehido
 AV Acetato de vinilo
 ABS Resinas ABS
 LSB Látex estireno butadieno
 PST Poliestireno
 SBR Hule SBR
 PCE Percloroetileno
 PVC Policloruro vinilo
 PET Policlorotereftalato
 BUT Butanol
 ETH 2-Etil hexanol
 ACL Acetato celulosa
 EAA Esteres ácido-oxético.

FIGURA No. 5

UNIZO



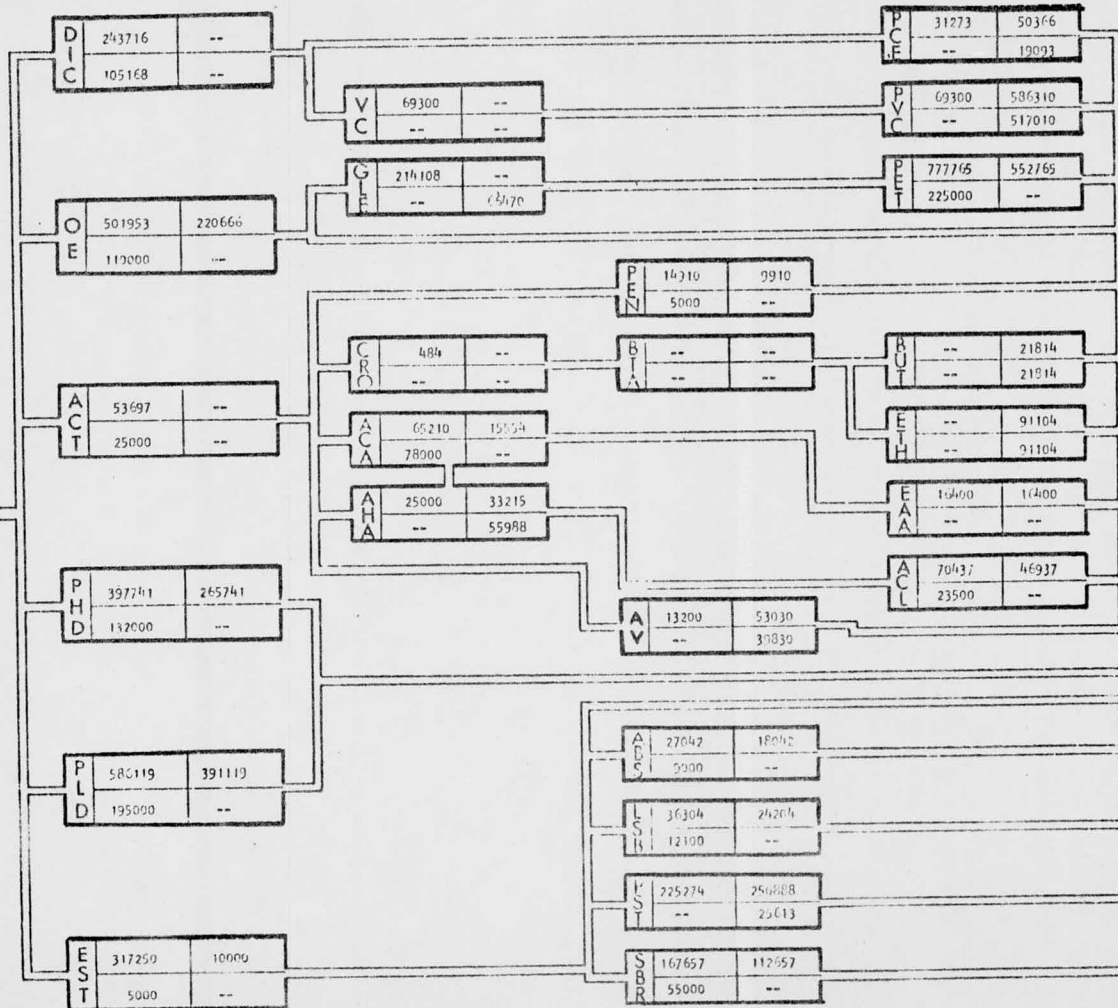
3er. PERIODO
VARIABLES CONTINUAS

Pr Od	Produc.	Demanda
	Export.	Import.

- DIC 1,2 Dicloroetano.
- OE Oxido de etileno
- ACT Acetaldehido
- PHD Polietileno alta densidad
- PLD Polietileno baja densidad
- EST Estireno
- VC Cloruro de vinilo
- GLE Glicoles etilénicos
- CRO Crotonaldehido
- ACA Acido acético
- AHA Anhidrido acetico
- PEN Pentaeritritol
- BT A Butiraldehido
- AV Acetato de vinilo
- ABS Resinas ABS
- LSB Látex estireno butadieno
- PST Poliestireno
- SBR Hule SBR
- PCE Percloroetileno
- PVC Policloruro vinilo
- PET Polietilentereftalato
- BUT Butanol
- ETH 2-Etil hexanol
- ACL Acetato celulosa
- EAA Esteres ácido-acrético.

FIGURA No. 6

UNIZO



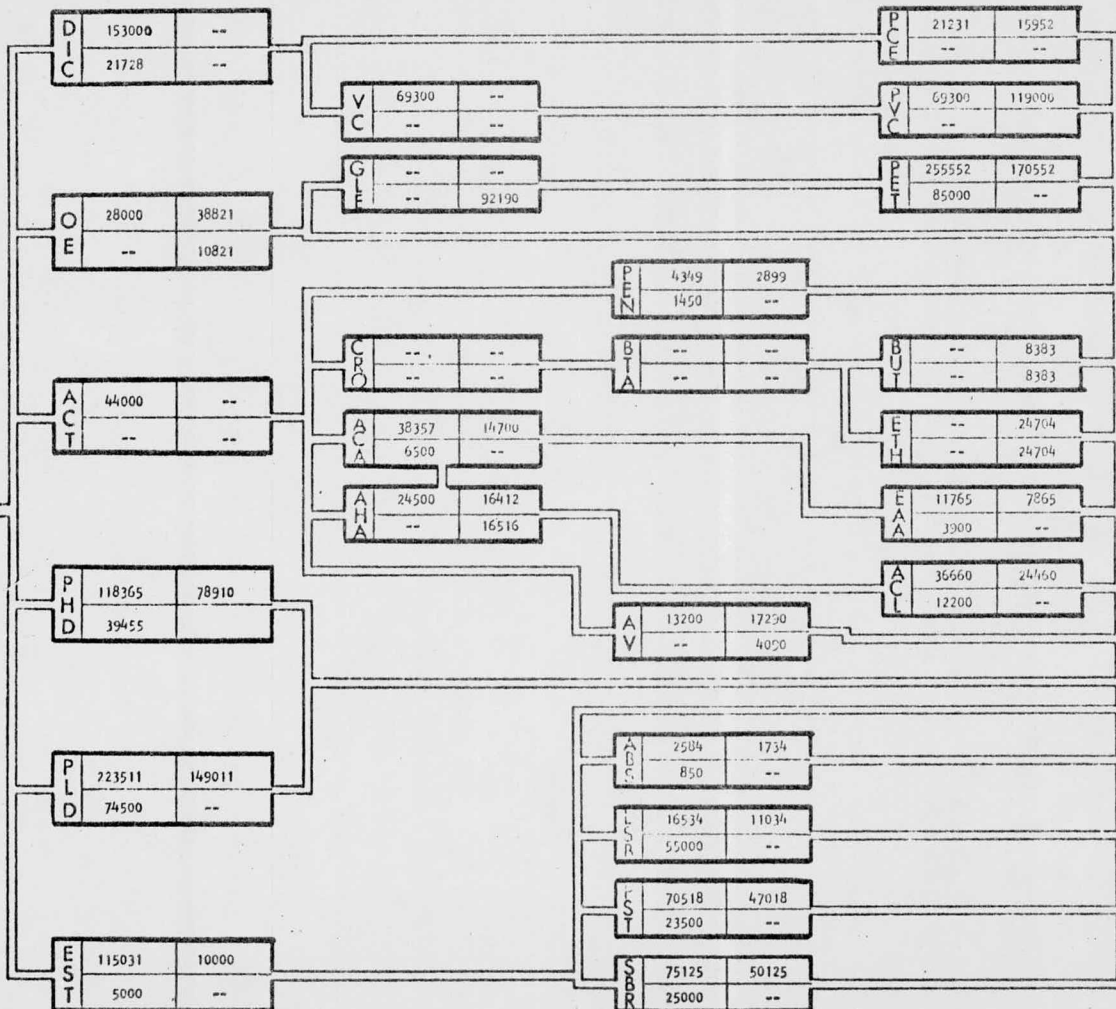
4to. PER1000
VARIABLES CONTINUAS

P O	Producc.	Demanda
	Export.	Import.

- DIC 1,2 Dicloroetano
- OE Oxido de etileno
- ACT Acetaldehido
- PHD Polietileno alta densidad
- PLD Polietileno baja densidad
- EST Estireno
- VC Cloruro de vinilo
- GLE Glicoles etilénicos
- CRO Crotonaldehido
- ACA Acido acético
- AHA Anhidrido acetico
- PEN Pentaeritrol
- BTA Butiraldehido
- AV Acetato de vinilo
- ABS Resinas ABS
- LSB Látex estireno butadieno
- PST Poliestireno
- SBR Hule SBR
- PCE Percloroetileno
- PVC Policloruro vinilo
- PET Polietilentereftalato
- BUT Butanol
- ETH 2-Etil hexanol
- ACL Acetato celulosa
- EAA Esteres ácido-acético

FIGURA No. 7

UNIZO



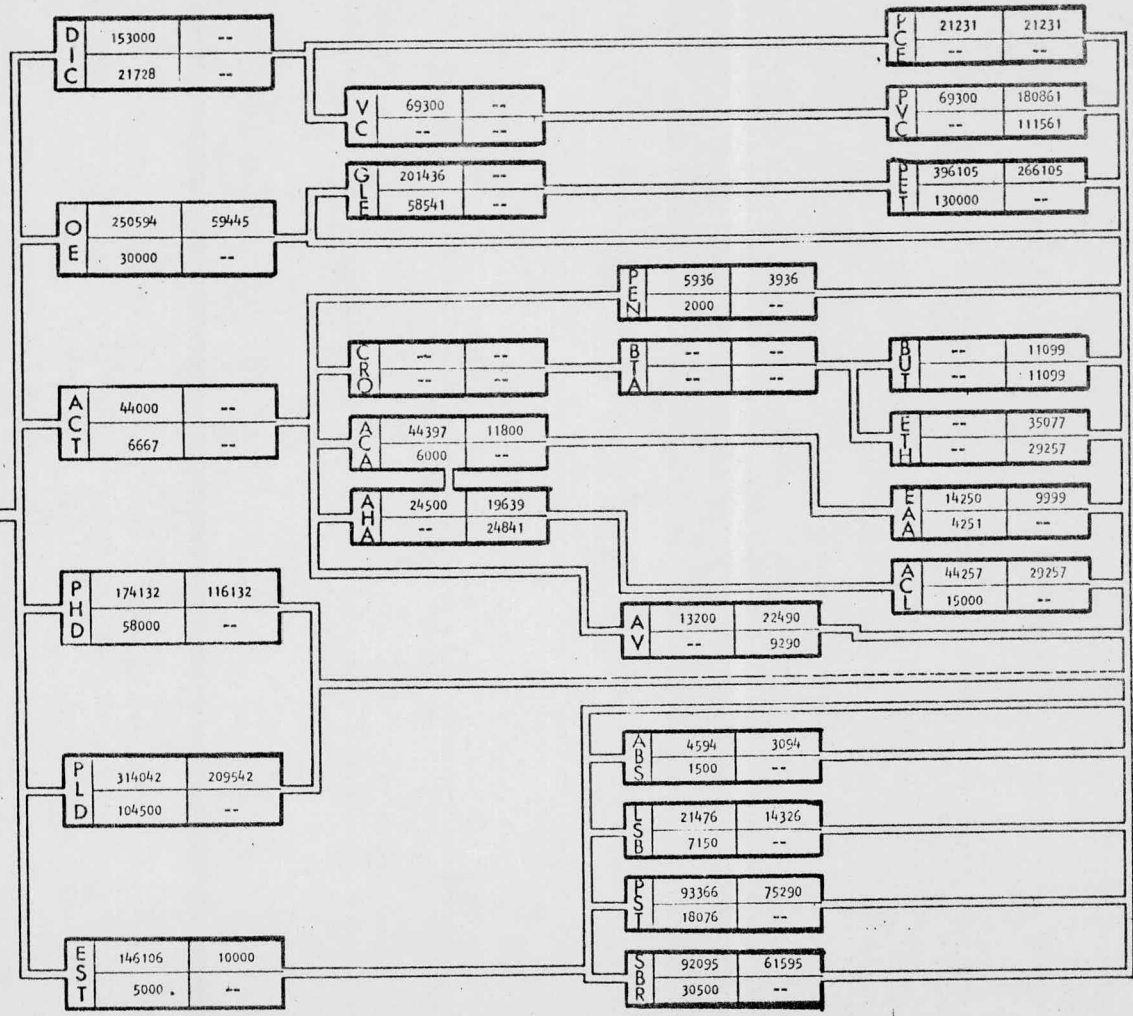
Ter. PERIODO
VARIABLES BINARIAS

P C O	Produce.	Demanda
	Exp. port.	Import.

- DIC 1,2 Dicloroetano
- OE Oxido de etileno
- ACT Acetaldehida
- PHD Polietileno alta densidad
- PLD Polietileno baja densidad
- EST Estireno
- VC Cloruro de vinilo
- GLE Clculos etilénicos
- CRO Crotonaldehido
- ACA Acido acético
- AHA Anhidrido acetico
- PEN Pentarritol
- BTA Butiraldehido
- AV Acetato de vinilo
- ABS Resinas ABS
- LSB Látex estireno butadieno
- PST Poliestireno
- SBR Hule SBR
- PCE Percloroetileno
- PVC Policloruro vinilo
- PET Polietilentereftalato
- BUT Butanol
- ETH 2-Etil hexanol
- ACL Acetato celulosa
- EAA Esteres ácido-acética

FIGURA No. 8

MAY - JUNO



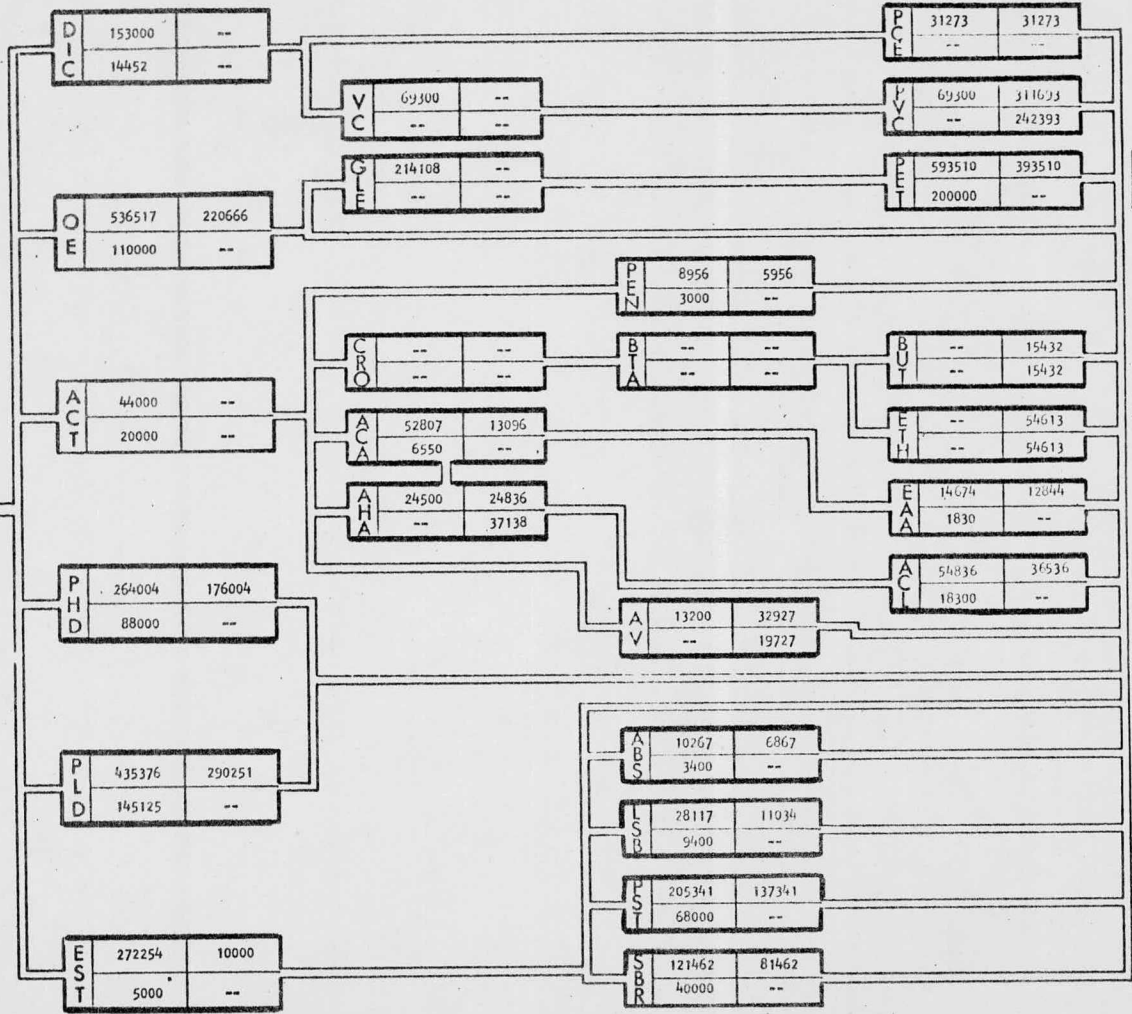
2do. PERIODO
VARIABLES BINARIAS

Pr od	Producc.	Demanda
	Export.	Import.

- DIC 1,2 Dicloroetano
- OE Oxido de etileno
- ACT Acetaldehido
- PHD Polietileno alta densidad
- PLD Polietileno baja densidad
- EST Estireno
- VC Cloruro de vinilo
- GLE Glicoles etilénicos
- CRO Crotonaldehido
- ACA Acido acético
- AHA Anhídrido acético
- PEN Pentaeritritol
- BIA Butiraldehido
- AV Acetato de vinilo
- ABS Resinas ABS
- LSB Látex estireno butadieno
- PST Poliestireno
- SBR Hule SBR
- PCE Parcloroetileno
- PVC Policloruro vinilo
- PET Polietilentereftalato
- BUT Butanol
- ETH 2-Etil hexanol
- ACL Acetato celulosa
- EAA Esteres ácido-acético

FIGURA No. 9

ENERO - JUNO



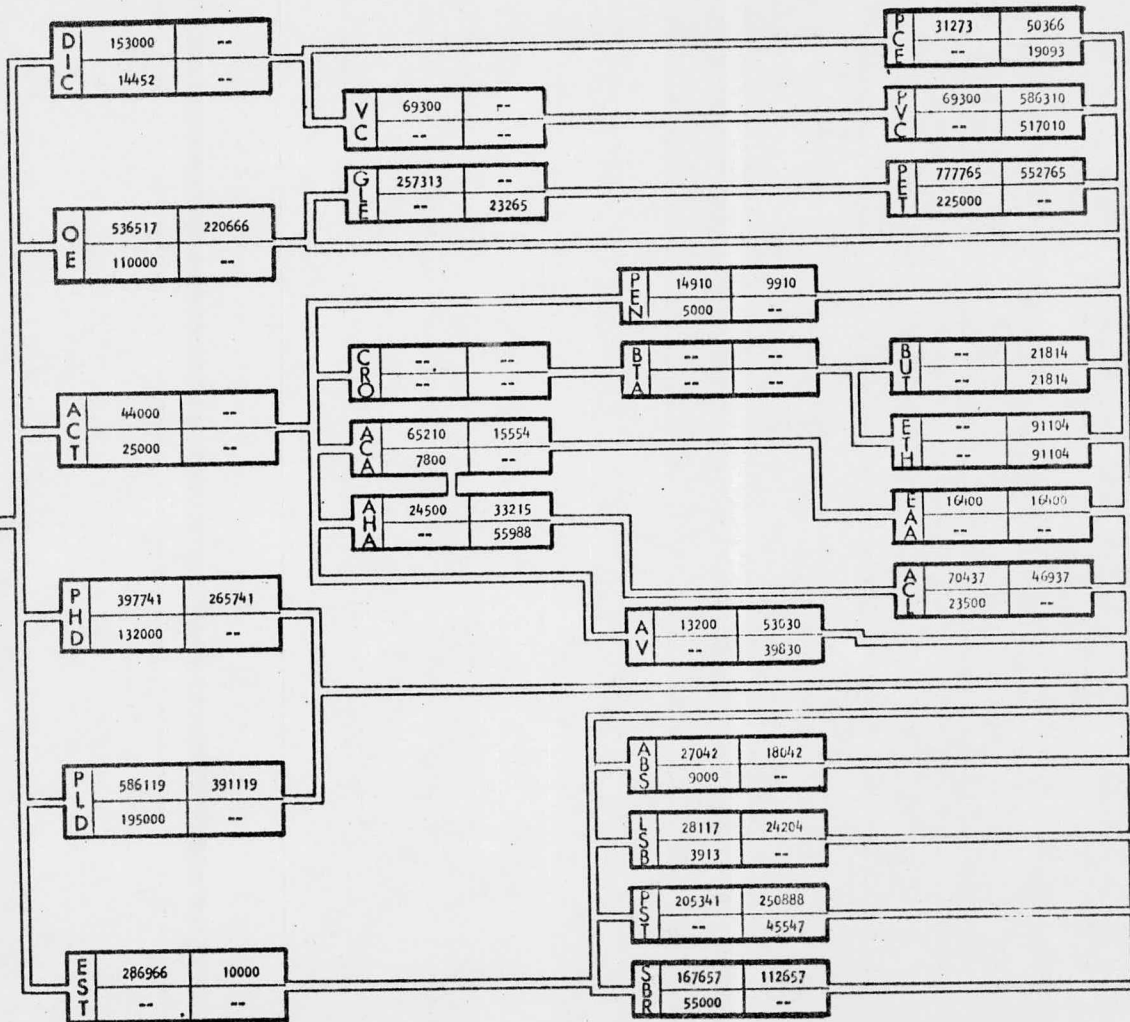
3er. PERIODO
VARIABLES BINARIAS

P o d	Producc.	Demanda
	Export.	Import.

- DIC 1,2 Dicloroetano
- OE Oxido de etileno
- ACT Acetaldehido
- PHD Polietileno alta densidad
- PLD Polietileno baja densidad
- EST Estireno
- VC Cloruro de vinilo
- GLE Glicoles etilénicos
- CRO Crotonaldehido
- ACA Acido acético
- AHA Anhidrido acetico
- PEN Pentacritritol
- BTA Butiraldehido
- AV Acetato de vinilo
- ABS Resinas ABS
- LSB Látex estireno buta. leno
- PST Poliestireno
- SBR Hule SBR
- PCE Percloroetileno
- PVC Policloruro vinilo
- PET Polietilenterftalato
- BUT Butanol
- ETH 2-Etil hexanol
- ACL Acetato celulosa
- EAA Esteres ácido-acético

FIGURA No. 10

MAYUNO



4to. PERIODO
VARIABLES BINARIAS

Pr d	Producc.	Demanda
	Export.	Import.

- DIC 1,2 Dicloroetano
- OE Oxido de etileno
- ACT Acetaldehido
- PHD Polietileno alta densidad
- PLD Polietileno baja densidad
- EST Estireno
- VC Cloruro de vinilo
- GLE Glicoles etilénicos
- CRO Crotonaldehido
- ACA Acido acético
- AHA Anhídrido acético
- PEN Pentaeritritol
- BTA Butiraldehido
- AV Acetato de vinilo
- ABS Resinas ABS
- LSB Látex estireno butadieno
- PST Poliestireno
- SBR Hule SBR
- PCE Percloroetileno
- PVC Policloruro vinilo
- PET Polietilentereftalato
- BUT Butanol
- ETH 2-Etil hexanol
- ACL Acetato celulosa
- EAA Esteres ácido-acético

FIGURA No. 11

BIBLIOGRAFIA

- "Applied Linear Programming".
N.J. Driebeek
ADDISON-WESLEY PUBLISHING CO.
- "Chemical Conversion Factors & Yields"
Mimi G. Erskine
STANFORD RESEARCH INSTITUTE
1969
- "Chemical Economics Handbook".
Chemical Profile
STANFORD RESEARCH INSTITUTE
- "The Chemistry of Petrochemicals".
Melvin J. Astle
MCGRAW-HILL
1971
- "Organic Chemical Processes".
Encyclopedia
MARSHALL SITTING
1969
- "The Petrochemical Industry: Markets & Economics".
A. Hahn
MCGRAW-HILL
1971
- "Petrochemical Industry, and the Possibilities of
its Establishment in the Developing Countries".
Claude Mercier
EDITIONS TECHNIP
1966
- "Preliminary Model of the Mexican Intermediate Industry".
J. Roberto Rivas & Dale F. Rudd
UNIVERSITY OF WISCONSIN.MADISON.
1974
- "Programming Investment in the Process Industry".
David A. Kendrick
The M. I. T. PRESS
1966

- "Studies in Process Analysis".
T. Vietorisz & A. S. Manne
Monograph 18
J. WILEY & SONS.
1963
- "Systems Study of the Petrochemical Industry".
M.A. Stadtherr & Dale F. Rudd
UNIVERSITY OF WISCONSIN.MADISON
1974
- "U.S. Petrochemicals".
A.M. Brownstein
THE PETROLEUM PUBLISHING CO.
1972
- "Producción Química Mexicana".
EDITORIAL COSMOS
9a. Edición
1970
- "Resumen de Datos de Programación para la Industria Química".
Thomas Vietorisz
APUNTES
1964
- "European Chemical News".
Chem Scope
INDUSTRIAL PRESS LTD.
1973-1974
- "Hydrocarbon Processing".
THE GULF PUBLISHING CO.
1973-1974
- "Process Engineering"
1972-1973
- "Sources & Production Economics of Chemical Products".
Chemical Engineering
MCGRAW-HILL
1973-1974
- "Anuario de la Industria Química Mexicana".
A.N.I.Q.
1973
- "Anuario de la Industria Química Mexicana".
A.N.I.Q.
1974

"Desarrollo y Perspectivas del Sector Secundario
de la Industria Petroquímica".
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
1974

"Energéticos. Demanda Sectorial, Análisis y Perspectivas".
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
1974

"Memoria de Labores".
PETROLEOS MEXICANOS
1974

"La Petroquímica Mexicana".
INDUSTRIAS RESISTOL, S.A.
1975