



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

PLANEACION DE COMPLEJOS  
PETROQUIMICOS

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n

JOSE OCTAVIO REYES LAGUNES

OTHON CANALES TREVIÑO



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

Universidad Nacional Autónoma de México

LIBRADO ASIGNADO ORIGINALMENTE  
FACULTAD DE QUÍMICA

CLAS Tesis 1977  
ABO M-71  
FECHA \_\_\_\_\_  
PRBO \_\_\_\_\_

PLANTACION DE COPILLOS

PETROQUÍMICOS



LIBRADO ASIGNADO ORIGINALMENTE  
FACULTAD DE QUÍMICA

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA.

PRESIDENTE: M. EN I. JOSE F. GUERRA RECASENS.  
VOCAL: ING. CLAUDIO A. AGUILAR MARTINEZ.  
SECRETARIO: ING. RAMON ARNAUD HUERTA.  
1er. SUPLENTE: ING. ENRIQUE BRAVO MEDINA.  
2o. SUPLENTE: SERGIO LARIOS Y SANTILLAN.

Sitio donde se desarrollo el tema: FACULTAD DE QUIMICA.

Nombre completo y firma de los sustentantes:

OTHON CANALES TREVIÑO

JOSE OCTAVIO REYES LAGUNES

Nombre completo y firma del asesor del tema:

M. EN I. JOSE FRANCISCO GUERRA RECASENS.

A NUESTROS PADRES Y HERMANOS

A MI ESPOSA

## I N D I C E

|  | PAGINA |
|--|--------|
| INTRODUCCION   | 1      |
| CAPITULO I : ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA PLANEACION DE UN COMPLEJO PETROQUIMICO. | 3      |
| CAPITULO II : LA TECNICA DE INSUMO-PRODUCTO.                                     | 23     |
| CAPITULO III : DESCRIPCION DEL MODELO UTILIZADO.                                 | 61     |
| CAPITULO IV : BREVE DESCRIPCION DE LOS PROCESOS CONSIDERADOS.                    | 74     |
| CAPITULO V : ANALISIS DE SENSIBILIDAD.   | 112    |
| CAPITULO VI : CONCLUSIONES.  | 119    |
| BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS  | 121    |

## INTRODUCCION

Desde el advenimiento del petróleo como fuente principal de energéticos, el desarrollo industrial y tecnológico ha logrado avances importantísimos en lapsos verdaderamente cortos siendo particularmente notorio el caso de la rama petroquímica, la cual responde a la incesante demanda de nuevos productos en grandes cantidades y a bajos costos.

El auge que en nuestros días presenta esta industria nos motivó a realizar este estudio en el cual pretendemos investigar, como primer objetivo, las ventajas y desventajas de la integración de complejos industriales en comparación con la instalación de plantas aisladas.

La segunda etapa del trabajo consiste en aplicar la teoría de Leontief a través de un modelo de computación aplicado a los 24 productos petroquímicos básicos de mayor demanda en nuestro país. El objetivo que perseguimos con ésto es el de establecer las características que debiera tener un complejo destinado a la producción de estos materiales, en cuanto se refiere a la demanda que debe satisfacer, la capacidad de producción, los costos involucrados y el establecimiento de los precios al costo de todos los productos. Esta sección incluye también la recopilación de información y la descripción de los procesos considerados.

En la tercera y última sección nos concentramos en la inspección de los resultados obtenidos y a la vez efectuamos un análisis de sensibilidad del proyecto, tendiente a destacar aque



llas variables económicas cuyo impacto resulta de mayor relevancia en el complejo y al mismo tiempo nos permite evaluar el efecto que pueda tener alguna desviación en la estimación de los parámetros requeridos.

Finalmente, presentamos una serie de conclusiones derivadas de la información presentada en esta tesis, que a nuestro parecer justifican los objetivos aquí mencionados.

## CAPITULO I

### ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA PLANEACION DE UN COMPLEJO PETROQUIMICO

El moderno desarrollo industrial exige la implantación de unidades productivas más complejas; las crecientes demandas de productos, la necesidad de generar materiales novedosos, el surgimiento de nuevas tecnologías y la optimización de los procesos ya existentes hacen que el concepto de la planta aislada se vuelva obsoleto.

Hasta hace algunos años, al industrial le convenía participar en la elaboración de los bienes finales en alguna o algunas de las etapas del proceso de tal manera que, en ciertos casos, la elaboración de un producto final requería la participación de varias empresas, las cuales compraban y vendían ya fuera materia prima para producto intermedio o este para producto final. En nuestros días esta situación tiende a variar, sobre todo en los aspectos del petróleo y la petroquímica, la industria minera y siderúrgica, etc. Actualmente el inversionista debe afrontar el reto que plantean, por un lado, la demanda de materiales y, por el otro, la crítica situación económica por la que atraviesa el mundo.

La espiral inflacionaria que se cierne sobre todos los países y la precaria estabilidad económica aún de las naciones más desarrolladas, implican la imperiosa necesidad de abaratar -

los costos de producción y de aumentar el caudal de bienes - que fluye al mercado para satisfacer la demanda.

Esta situación es particularmente cierta para la rama petroquímica, cuya expansión por crecimiento de la demanda y el desarrollo de nuevas tecnologías y productos, llega a niveles - verdaderamente altos.

Las consideraciones anteriormente expuestas indican, como solución al problema, el que las compañías substituyan sus compras por producción propia; es decir, que una empresa sea capaz de elaborar bienes finales a partir de materias primas -- originales o, por lo menos, de abarcar las etapas principales del proceso. Para lograr esto es necesario aumentar el nivel de inversión en forma considerable e instalar en un área pre-seleccionada, normalmente cerca de las zonas de abastecimiento de materia prima, todas las plantas de proceso involucradas en la elaboración del producto o los productos finales; - esto es, instalar un "complejo industrial".

La implantación de un complejo de este tipo presenta una serie de ventajas y desventajas de las que a continuación nos ocuparemos.

Una de las primeras ventajas que reporta el establecimiento - de un complejo es el de disminuir los compromisos de compra - de materias primas, ya que se debe asegurar únicamente el -- abastecimiento de la materia prima original, la cual es el - punto de partida para la operación de la unidad, la que a su vez genera internamente el abastecimiento de los materiales -

requeridos en las etapas subsecuentes de proceso. Una situación de este tipo minimiza obviamente los riesgos de paro de la unidad por falta de abastecimiento de materia prima. Es necesario garantizar el suministro de la misma y una forma de lograrlo es ubicar las instalaciones en, o por lo menos cercanas a, una zona productora de dicha materia prima; lo anterior queda sujeto a un balance de tipo económico, ya que si bien es cierto que se abaten los costos de transportación de materia prima, puede darse el caso de que los costos de fletes y transportes de producto terminado se incrementen considerablemente, si los centros de consumo quedan muy alejados del punto de ubicación del complejo.

Podemos afirmar entonces que la localización del complejo es un factor importante, ya que debe no sólo equilibrar económicamente las distancias entre las zonas de abastecimiento y consumo sino contar con una infraestructura adecuada, es decir, vías de comunicación convenientes y de fácil acceso, agua, energéticos, fuentes de mano de obra, etc.

Quizá una de las ventajas más importantes que reporta la instalación de un complejo industrial, en comparación con la de plantas aisladas, es el abatimiento de los costos en general, dado el postulado básico de las economías de escala. Esta disminución se ve reflejada en todas las etapas del proyecto, desde el diseño básico hasta la instalación definitiva; por ejemplo, si se contrata la ingeniería para el diseño del paquete completo o para partes sustanciales del mismo, -

es posible obtener ahorros considerables por este concepto, ya que dado el costo que implica un diseño de esta magnitud, la fracción diferencial de descuento que se obtenga puede ser mayor sin tener un fuerte impacto para la compañía o las compañías contratadas.

Por otra parte, el volúmen de trabajo que se contrata hace que la atención de la firma de ingeniería que realiza el diseño se concentre, en su mayor parte, en el proyecto del complejo, con lo cual se obtiene una mayor uniformidad y calidad en los trabajos, lo que en última instancia reduce, el número de problemas potenciales durante el arranque y operación de las unidades.

Una vez que se llega a la etapa de compra e instalación de equipos, es cuando se pueden obtener los mayores ahorros por lo que a inversión se refiere, ya que si se procura uniformizar los equipos contenidos en la unidad, es decir, comprar todas las bombas de agua de la misma marca, los compresores de aire, etc., se pueden abrir concursos para un elevado número de unidades, lo que resulta muy atractivo para los proveedores. Estos además de dar mejores precios en atención al número de equipos considerados, participan en una situación de competencia muy favorable para el comprador, lo que permite adquirir la mejor calidad a bajo costo. En lo que respecta a la compra de materiales de construcción, la situación es aún más favorable, ya que, de acuerdo con lo expuesto en párrafos anteriores, el complejo pudiera quedar alejado de los

grandes centros de distribución de este tipo de materiales, - lo que a primera vista sugiere un incremento en el costo unitario por concepto de fletes y transportes; sin embargo, los bajos costos de adquisición y los grandes volúmenes a manejar - contrarrestan en buena medida el citado incremento.

También dentro del renglón de abaratamiento de costos debemos considerar los referentes a los servicios auxiliares. Para una unidad de tan alta capacidad como sería un complejo de este tipo, los requerimientos de servicios auxiliares, tales como vapor de agua, corriente eléctrica, aire comprimido, etc., son de tal magnitud que el hecho de centralizarlos en un área específica, además de agilizar su distribución y por ende disminuir los costos de producción, implica el uso de equipos de capacidad tal que atenúa considerablemente los costos de inversión.

Además de las ventajas mencionadas, el hecho de establecer un área propia para la generación y distribución de servicios auxiliares reporta mayores beneficios en cuanto que el volumen y tipo de trabajo justifican el tener personal y supervisión especializada. Si consideramos la relativa peligrosidad y dificultad de operación de algunos de estos equipos (v.g. calderas) este hecho es altamente benéfico.

Quizá una de las mayores ventajas que se obtengan de la instalación de una unidad productiva de esta magnitud sean los bajos costos de administración, dado que es posible establecer un esquema de organización básico para el complejo global. Ob-

viamente, el número de personas involucradas en este esquema central es comparativamente mayor que el necesario para cada planta en particular; sin embargo puede, por sí solo, cubrir los requerimientos totales del sistema con mucho menor número de personas de las que serían necesarias en caso de establecer un esquema similar para cada planta en particular.

Esta centralización administrativa es deseable en tanto unifica los criterios y agiliza el flujo de información, obteniéndose por consiguiente un ahorro en tiempo. Logrando además, en atención al menor número de personas involucradas, una considerable disminución en los costos unitarios derivados de este concepto. En suma, el beneficio real que se deriva de la centralización administrativa se fundamenta en la optimización de la distribución y enfoque de los recursos humanos utilizados; esto es, posible de esta forma establecer áreas específicas de responsabilidad, lo que permite tener personal altamente capacitado y resolver los problemas que surjan del manejo de las instalaciones globales, con una mayor eficacia.

Siguiendo la idea del abatimiento de costos, cabe mencionar en este punto el derivado de los transportes interno y externo de materiales. El hecho de concentrar varias plantas interrelacionadas dentro de los mismos límites de baterías, genera una disminución en los costos de transportación de materias primas básicas, materias primas auxiliares, de productos intermedios y finales. Esto obedece a varias razones de-

pendiendo de los materiales considerados; por ejemplo, si hablamos de materiales a granel, el volúmen que se maneje puede llegar a justificar la instalación de una espuela de ferrocarril, lo que si bien implica un costo adicional, su impacto se diluye dada la multiplicidad de productos a manejar y el bajo costo de este medio de transportación. Aún cuando la situación anterior no llegara a ser económicamente atractiva, el volúmen de materiales a manejar representa por sí solo una fuente de abatimiento en el costo, independientemente del medio de transporte considerado; más aún si el mencionado volúmen es tal que permita a la empresa adquirir sus propias unidades de transporte (pipas, carrostanque, etc.) prescindiendo así del alquiler de este tipo de servicio.

Muchos de los materiales que en otro tipo de organización tendrían que ser considerados necesariamente como materia prima son ahora productos intermedios y, dada la cercanía de ubicación de una planta a otra, pueden ser transportados por medios hidráulicos, neumáticos o mecánicos cuyos costos de operación son bajos, suprimiéndose al mismo tiempo todo tipo de envases o empaques intermedios. Además de las ventajas mencionadas, se eliminan las áreas de carga y descarga en las plantas y es posible reducir la capacidad de almacenamiento en ambas unidades, ya que en un momento dado es factible hacer la transferencia directa de proceso a proceso de tal forma que el almacenamiento quede condicionado al caso eventual de problemas en alguna de las unidades.



Hemos cubierto hasta aquí los aspectos más importantes del -  
abatimiento en los costos derivados de la instalación de un -  
complejo productivo de este tipo. Desde luego no son todos, -  
pero sí creemos son aquellos cuyo impacto es más relevante en  
la obtención de costos más bajos de inversión y en algunos ca  
sos, de operación. Es pues conveniente abordar ahora el punto  
referente a las ventajas que se pueden obtener de un complejo  
industrial, en el sentido de evitar el encarecimiento del pro  
ducto o productos finales que se elaboren en el mismo.

Estas ventajas se encuentran íntimamente relacionadas con lo-  
expuesto en párrafos anteriores, ya que la fuente principal -  
de "no encarecimiento" del producto es precisamente la reduc-  
ción de los costos involucrados en su manufactura; sin embar-  
go, cabe mencionar algunos otros aspectos cuya influencia es-  
similar, en cierto modo, a la disminución del costo.

Es decir, si consideramos en primera instancia el caso disper  
so en el que varias empresas participan en la elaboración de-  
un producto final, vemos que en todos los puntos incluidos en  
la trayectoria de los materiales o productos intermedios debebe  
mos añadir, además de los costos inherentes, el margen de uti  
lidad que obtienen todas las empresas participantes, el im -  
puesto sobre ingresos mercantiles y la ganancia que perciben-  
los "intermediarios", que en muchas ocasiones se encargan de -  
la comercialización de los artículos intermedios y/o finales-  
en cuestión. Esta situación implica necesariamente un increme -  
nto en el precio final del producto, ya que el costo de ad-

quisición de una empresa a otra aumenta considerablemente, - sobre todo si se tiene la participación de un intermediario, - el cual puede ser una persona física o una firma distribuidora independiente.

Esta "repercusión mercantil" no se presenta en un complejo industrial, ya que se eliminan, además de los costos de transporte, administrativos, etc., las utilidades intermedias y la presencia de intermediarios y distribuidores, dado que al pasar los materiales de una planta a otra dentro de los mismos límites de baterías, se efectúa un proceso de "compra-venta" a precio de costo (este es el caso contemplado en el programa). Esto permite aplicar una utilidad mayor al producto final que la que aplicaría la última empresa participante en el proceso productivo en el caso disperso; sin embargo, esta ganancia es menor que la suma de las utilidades que se derivan de la participación de varias compañías; luego no es erróneo visualizar este no encarecimiento del producto, como un abatimiento en el costo de comercialización del mismo.

Por otra parte, como mencionamos anteriormente, la ubicación de las instalaciones es un factor importante para el éxito de las mismas; así pues, el complejo puede quedar localizado en alguna entidad cuya población industrial sea baja. Si es este el caso, la situación será muy atractiva para las autoridades locales, quienes seguramente otorgarán ciertos incentivos fiscales tendientes a atraer a la empresa hacia alguna zona de su jurisdicción. Las razones son obvias, puesto que la insta-

lación del complejo en una zona de este tipo representa no sólo una fuente de riquezas para el estado, sino además una fuente considerable de trabajo que repercutirá en un beneficio general para la sociedad.

Por supuesto, existen una serie de actividades en que la empresa cumple con una labor social promoviendo el desarrollo integral de la comunidad, ya sea capacitando al personal, promoviendo el comercio de todo tipo dentro del lugar; ayudando, en una palabra, al progreso en general de la región considerada. Sin embargo, dado que los efectos de estas actividades no son fácilmente mesurables en términos de beneficios inmediatos, no ahondaremos más en esta cuestión. Baste decir que se deben tener presentes estos factores en el momento de escoger la localización final del complejo.

Uno de los principales problemas derivados del desarrollo industrial es, sin lugar a dudas, la contaminación ambiental; la situación es cada vez más crítica, de tal forma que es posible observar zonas que en otro tiempo contaban con grandes recursos vegetales y animales totalmente devastadas por la contaminación de las grandes zonas industriales ahí instaladas. Esto ha dado lugar a una inquietud generalizada en todos los gobiernos por evitar este tipo de situaciones, de tal suerte que, día a día, se cuenta con legislaciones más estrictas tendientes a ejercer un mayor control y, eventualmente, a la eliminación de los contaminantes ambientales de todo tipo. Es lógico suponer que una instalación como la propuesta gene-

re un gran volúmen de efluentes contaminantes que será necesario controlar de alguna manera y, en su caso, eliminar. Cabe aquí hacer la distinción entre los diversos tipos de contaminantes, ya que puede haberlos de tipo gaseoso, sólido, líquido, térmico, auditivo, etc.; algunos de ellos podrán ser eliminados o reducidos a niveles aceptables mediante la instalación de equipos especiales dentro del proceso mismo, por ejemplo, eliminadores de niebla, colectores de polvos, lavadores de gases, amortiguadores de ruido, etc. Sin embargo, la naturaleza misma del proceso hará imposible en algunos casos la eliminación o atenuación de algún tipo de contaminante en particular; es aquí en donde el mayor volúmen a manejar pudiera redundar en un beneficio relativo, puesto que permitiría la implantación de unidades adecuadas para el tratamiento de estos efluentes, atenuando el cargo, por unidad de producto terminado, que se deriva de la necesaria eliminación de los contaminantes.

Desde luego esta situación implica lógicamente un incremento en los costos tanto de inversión, cuanto de operación; sin embargo, dado que es esta una erogación necesaria, el procedimiento de los efluentes de un complejo industrial, si bien implica un gasto mayor, también conlleva una repercusión menor en el costo del producto final. Es decir, suponiendo nuevamente el caso disperso, cada planta que participa en el proceso tendría que instalar una unidad de tratamiento de aguas, por ejemplo, y la repercusión monetaria se aplicaría-

a uno o dos productos. En tanto que en el caso del complejo se instalaría una unidad de mayor capacidad capaz de procesar todos los efluentes líquidos del mismo. Aquí se observan claramente dos ventajas, a saber: primero, el costo de una unidad de tratamiento de mayor tamaño es seguramente que la suma de los costos de varias pequeñas; y segundo, el aumento en el costo se aplica a 10 ó 15 productos en lugar de uno o dos, por lo que la influencia en el precio por producto es considerablemente menor en el caso del complejo que en el citado caso disperso.

Hasta ahora hemos analizado a grandes rasgos las ventajas fundamentales que una organización de este tipo implica. Sin embargo, debemos estar conscientes que la instalación de un complejo industrial de gran magnitud presenta una serie de desventajas que deben ser sopesadas cuidadosamente antes de tomar la decisión de aventurarse en una empresa de este tipo. En primer término y quizá el punto más delicado se refiere al monto de la inversión inicial. En párrafos anteriores mencionábamos que la disminución de costo y aunque esta pueda ser verdaderamente sustancial, pero no debemos perder de vista el hecho de que la erogación inicial para la instalación de un complejo de este tipo es una cantidad muy elevada, lo que nos conduce al problema fundamental, es decir, el financiamiento. Esto implica que una instalación de esta clase pueda ser llevada a cabo únicamente por el sector público, por empresas de una magnitud considerable o bien, eventual

mente, por una coalición de industrias o grupos financieros - cuya labor conjunta permitiría respaldar la inversión en cuestión.

Lógicamente las entidades que podrían interesarse más en un proyecto de esta magnitud son las empresas grandes y el sector público. Sin embargo, para las primeras, por lo menos en nuestro país, el riesgo involucrado en el proyecto es tal que en ocasiones las obliga a adoptar una actitud más conservadora que la que esa misma empresa tomaría en otras circunstancias. Todo lo anterior nos indica que es el sector público, - ya sea por sí solo o en régimen de economía mixta, el que se encuentra en una situación más ventajosa para implementar organizaciones de esta magnitud. De hecho, en nuestro caso particular, no son sólo las consideraciones anteriores sino la legislación vigente la que nos obliga a considerar al sector público como la organización más competente para llevar a cabo el proyecto.

La rápida recuperación de la inversión es uno de los intereses básicos de la empresa que aborde la tarea, sea cual fuere su naturaleza; esta recuperación, como todos sabemos, coincide con la iniciación de las operaciones de las instalaciones y es precisamente aquí donde surge la segunda desventaja derivada de la implementación de un complejo de este tipo.

Montar y arrancar una sola planta toma un determinado tiempo; sin embargo, montar y arrancar 10 ó 15 plantas, algunas de ellas interrelacionadas, requiere un lapso considerablemente-

mayor, sobre todo teniendo en cuenta que la operación del -  
complejo no se puede considerar normal; esto es, que el com -  
plejo no cumplirá la función para la que fue previsto sino --  
hasta que todas las plantas estén funcionando en condiciones-  
estables a la capacidad requerida. El problema contemplado --  
presenta dos facetas; el tiempo requerido para la instalación  
y el necesario para alcanzar la operación estable. Refiriéndo  
nos a la primera, cabe mencionar que el elevado número de --  
equipos y en algunos casos la complejidad de los mismos, aumen  
ta considerablemente el lapso transcurrido hasta la entrega -  
e instalación de ellos, lo que necesariamente alarga el tiem  
po transcurrido hasta la operación normal. Una vez recibidos-  
los equipos se procede a la instalación de los mismos, siendo  
deseable lograrlo en el menor tiempo posible. Ahora bien, es-  
te tiempo está en razón inversa del número de personas desti  
nadas a realizar esta tarea, de donde se deduce la necesidad  
de efectuar un cuidadoso estudio para determinar el tiempo y  
costo óptimos para realizar la operación. Si se emplea un nú  
mero excesivo de personas se puede disminuir el tiempo reque  
rido; sin embargo, los costos se pueden elevar peligrosamente  
en una etapa que es crítica en la vida del proyecto.

Una vez instalados los equipos, se procede a realizar todas -  
aquellas pruebas que sean pertinentes para demostrar el buen  
funcionamiento de los mismos, considerándose que a partir de  
este momento el sistema entra a la fase de arranque. Esta es  
una de las etapas más difíciles por las que tiene que atrave

sar el proyecto, sobre todo si recordamos que la probabili -  
dad de surgimiento de problemas está en razón directa de la -  
complejidad de las instalaciones. Por este motivo es indispen -  
sable contar con un grupo técnico capacitado y, de ser posi -  
ble, con experiencia suficiente para hacer frente al sinnúme -  
ro de problemas que pueden presentarse (y de hecho se presen -  
tan) en este punto.

Con mucha frecuencia, por errores durante el diseño o por de -  
ficiencias en la fabricación o instalación, los equipos pre -  
sentan marcadas desviaciones con respecto a las especificacio -  
nes requeridas, siendo en este momento cuando se detectan -  
las anomalías y, por ende, cuando se aplican las acciones co -  
rrectivas, que pueden ir desde un simple alineamiento hasta -  
una formal reclamación al proveedor. El lapso de pruebas y -  
arranque se puede extender en forma desmedida haciendo que -  
los "gastos de arranque" rebasen los límites establecidos en -  
los estudios de rentabilidad de los procesos; por esto, y --  
por la misma interdependencia que existe de una planta a otra,  
se debe prestar especial atención a la selección del perso -  
nal involucrado y a la organización (que en este momento ya -  
debe estar perfectamante definida) vigente, pues este último -  
factor es importantísimo en la determinación del éxito o fra -  
caso que se tenga.

Por la naturaleza misma del complejo considerado, la dificul -  
tad implícita en el arranque se ve considerablemente aumenta -  
da, ya que, por una parte, dado el elevado monto de la inver -



sión, es lógico pensar que los procesos incluidos serán novedosos y aunque sean económicamente atractivos, la mucha o poca experiencia que se tenga sobre ellos es un factor preponderante en la consecución de un arranque con el mínimo de problemas y en el menor tiempo posible. Esta es pues, quizá, una de las mayores desventajas que pueden derivarse de la implantación de un complejo de este tipo, ya que en muchos casos la vida entera del proyecto depende del éxito o fracaso que se tenga en lograr un arranque rápido y sin problemas. Lógicamente, otra de las desventajas inherentes al complejo industrial puede estar relacionada con el grado de complejidad de su operación, en virtud del elevado número de equipos involucrados y de la interdependencia que puede existir de una planta a otra. Para ejemplificar lo anterior, tomemos el caso en que una planta A produce la materia prima que va a ser utilizada por las unidades B y C; dada esta situación, en el caso en que las instalaciones de la planta A se vean obligadas a interrumpir o disminuir su producción, habrá una repercusión directa e inmediata en la operación y capacidad de las plantas B y C, lo cual provoca una situación de desbalance general en la operación del complejo como un todo. Aún cuando este problema es común a cualquier tipo de industria, quisimos mencionarlo aquí puesto que en el caso específico de un complejo como al que nos referimos, el efecto económico es considerablemente mayor ya que los costos fijos de una instalación de esta magnitud son mucho mayores que los de --

una planta pequeña. Cabe mencionar aquí que los costos de mantenimiento derivados del inventario de refacciones y de las horas-hombre invertidas son mucho mayores para un complejo de esta magnitud, dado que el elevado número de equipo involucrados incrementa considerablemente la probabilidad de ocurrencia de mal funcionamiento o fallo de los mismos.

Desde luego muchos de estos problemas se podrían minimizar aumentando el nivel de automatización de los procesos; evidentemente esto implica una mayor inversión y, aún cuando -- significa una reducción en el número total de empleados, también es cierto que el personal de operación y especialmente de mantenimiento debe ser mucho más preparado y, por ende, más difícil de conseguir.

Por último, haremos referencia, en términos muy generales, a un tema de particular importancia dado el elevado nivel de riesgo que involucran los materiales y procesos que cualquier empresa química maneja: la seguridad. El crear y mantener dentro del personal una actitud positiva hacia la seguridad debe ser una preocupación fundamental de cualquier empresa, independientemente de su tamaño. En el nivel que nos ocupa, el problema se agudiza considerablemente dado el elevado número de personas y procesos involucrados, la relativa peligrosidad de los mismos y la cercanía territorial entre las diversas plantas que componen el complejo. Las consideraciones de seguridad deben estar presentes desde las primeras etapas del diseño, ya que la ubicación de cada unidad en particular-

debe de ser tañ qie minimice los riesgos que, derivados de la natural peligrosidad de una planta en particular, pudieran -- causar una catástrofe de proporciones mayores; por ejemplo, - aquellas plantas en las que la probabilidad de ocurrencia de un fuego sea mayor, deben estar lo suficientemente aisladas - como para permitir un rápido y eficiente confinamiento del - mismo, evitando de esta manera su propagación a instalaciones aledañas.

De lo anterior se ve claramente la necesidad de instalar los sistemas adecuados para la detección y para el control de las situaciones de emergencia, como pueden ser: sistemas fijos -- contra incendio, sistema de espuma química, cortinas de vapor etc. Obviamente, es necesario revisar y mantener adecuadamente estos sistemas para garantizar su buen funcionamiento en - el desafortunado caso en que lleguen a ser necesarios.

Como mencionábamos anteriormente, el pilar de la seguridad es la conciencia que al respecto tenga el personal. Para lograr esto es necesario entrenar exhaustivamente al mismo, así como proveerlo del equipo de protección de, personal necesario y -- adecuado para que trabajen en las mejores condiciones posi -- bles. Con esto se logrará minimizar, mas no evitar completa - mente, los riesgos de que una situación de emergencia se presente; por consiguiente, es necesario también integrar brigadas especialmente capacitadas para realizar funciones específicas en este sentido, como son el control de incendios, el - rescate de personas atrapadas y la administración de primeros

auxilios.

Lógicamente, la carga de trabajo inherente a la realización de todas estas funciones implica la necesidad de establecer un departamento encargado única y exclusivamente de coordinar y verificar que las mismas se lleven a cabo. Todo lo anterior genera un aumento considerable en los costos, tanto de instalación cuanto de operación, lo cual es particularmente cierto en el caso que nos ocupa; sin embargo, este tipo de erogaciones está más que justificado considerando, en primer término, el bienestar del personal y, en segundo término, el elevado monto de la inversión.

En los párrafos anteriores hemos pretendido mencionar únicamente aquellos puntos de especial interés en cuanto a ventajas y desventajas se refiere; sin embargo, el abordar un estudio de esta magnitud implica el surgimiento de situaciones cuyo esclarecimiento requiere un análisis más detallado y -- profundo. Por lo tanto, aún cuando estamos concientes de que los puntos aquí expresados no constituyen una lista completa de los tópicos requeridos para fundamentar adecuadamente una resolución, sí creemos que pueden ser utilizados para efectuar una evaluación preliminar del proyecto y de esta manera normar algún criterio futuro.

CAPITULO I

"ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA PLANEACION DE UN  
COMPLEJO PETROQUIMICO"

---

| VENTAJAS   | DESVENTAJAS   |
|--|---|
| 1.- Disminución de compra de materias primas.                        | 1.- Elevado monto de la <u>in</u> versión inicial.                              |
| 2.- Minimiza los paros por falta de materia prima                    | 2.- Prolongado período de instalación y entrega de plantas.                     |
| 3.- Abatimiento de los <u>cos</u> tos en general.                    | 3.- Mayor probabilidad de dificultad en el arran que. Y en la operación normal. |
| 4.- Abatimiento en el <u>cos</u> to de equipo por volúmen de compra. | 4.- Efectos negativos aditivos por la interde - pendencia de las plantas        |
| 5.- Menor costo relativo - de servicios auxiliares.                  | 5.- Elevados costos de <u>man</u> tenimiento.                                   |
| 6.- Bajos costos de adminis tración.                                 | 6.- Mayor índice de conta minación.   |
| 7.- No encarecimiento del - producto.                                | 7.- Elevados costos de se guridad.  |
| 8.- Menor repercusión fiscal.  |   |
| 9.- Posibles incentivos <u>fisca</u> les.                            |   |

## CAPITULO II

### LA TECNICA DE INSUMO PRODUCTO

La economía moderna no es una disciplina aislada, sino que la producción está tan especializada, que las industrias en un sistema económico están interrelacionadas y dependen unas de otras, de tal manera que los cambios introducidos por un solo elemento del sistema económico generan una serie de repercusiones a través de la economía como un todo. Los cambios en una industria cualquiera pueden ser pequeños; sin embargo, al difundirse de una industria a otra dentro del universo económico considerado, el efecto total acumulativo que se produce puede ser considerable. Es pues importante que los economistas sean capaces de evaluar los efectos totales, tanto los directos cuanto los indirectos, que se generen a raíz de un cambio en la conducta económica. Desafortunadamente las repercusiones parecen infinitas, lo que nos plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo evaluar los efectos totales de una manera sistemática?

La técnica de insumo-producto (Input-Output, desarrollada en primera instancia por Wassily W. Leontief, nos provee un método para lograrlo. En este tipo de análisis la economía se subdivide en sectores (o industrias) y se registra el flujo de bienes y servicios entre ellos, indicando sistemáticamente

te las relaciones entre los mismos.

A estas relaciones se les denomina "relaciones de insumo-producto" porque nos indican los insumos que requiere un sector para generar su producto. Los análisis de impacto, como el mencionado anteriormente, se pueden desarrollar de acuerdo con otras formas de la teoría económica. Por ejemplo, los análisis de equilibrio general consideran el equilibrio de todos los mercados en la estructura económica considerada, tomando en cuenta que sólo se alcanza el equilibrio en un mercado si la oferta y la demanda para un bien son exactamente iguales, ya que de esta manera no se requieren mayores ajustes en el precio y cantidad del bien considerado. Sin embargo, dado que ningún mercado está aislado de los otros, los disturbios de equilibrio que se presenten en cualquiera de ellos (debidos a cambios en la demanda u otros factores) generan desajustes similares en los demás mercados. Para evaluar los efectos totales de cambio originados en un mercado, uno debería analizar todos los demás mercados, esto es, realizar un análisis de equilibrio general.

Las técnicas de insumo-producto son una forma especial de este tipo de análisis, en las cuales se ignoran muchas posibilidades teóricas y complicaciones propias de los análisis generales. Por ejemplo, se asume que la producción se comporta de una manera simple, es decir, queda descrita por un sistema de ecuaciones lineales, lo que hace posible aplicar este análisis a estudios empíricos los que difícilmente podrían -

ser evaluados utilizando técnicas más abstractas.

Se pueden realizar estudios de impacto aplicando teorías macro-económicas, o sea aquellas relacionadas con el análisis del cambio en las variables económicas agregadas, tales como el producto nacional bruto, el nivel general de precios, el índice de desempleo, etc. El efecto de los cambios en la composición de una variable agregada es frecuentemente ignorado en el macroanálisis; sin embargo, al descomponer el sistema-económico en unidades más pequeñas, las técnicas de insumo - producto son capaces de ubicar los efectos no detectados por el análisis macro-económico. Estos efectos pueden considerarse en términos abstractos, pero también pueden cuantificarse, - por lo que las técnicas de insumo-producto han incrementado su importancia como una poderosa herramienta de análisis.

#### LA MATRIZ DE INSUMO PRODUCTO.

Para producir, cada industria o sector del sistema económico debe procurarse ciertos insumos, entre los que se incluyen - las materias primas, bienes intermedios, equipo de proceso, - mano de obra, etc., adquiriéndolos de otras industrias o sectores. Los impuestos, aún cuando no se requieren físicamente para la producción, deben ser considerados como insumos, puesto que el pagarlos es una obligación fiscal que toda industria debe cumplir. Por otra parte, los bienes producidos por cada industria se venden ya sea a los usuarios finales o a -



las otras industrias o sectores en donde son utilizados como insumo; la tabla que resume el origen de todos los insumos y el destino de todos los productos para el conjunto global de industrias que componen el sistema económico considerado, se denomina "Matriz de insumo-producto".

Para mejor comprensión, consideraremos un sistema económico-hipotético constituido por tres sectores: agricultura, manufactura y servicios. Supongamos que cada uno de ellos produce un solo tipo de bienes. Los tres sectores son interdependientes en el sentido de que las compras y ventas de insumos y productos se realizan entre ellos; no existe gobierno alguno y la economía está aislada del resto del universo. Las suposiciones anteriores se alejan un tanto de la realidad; sin embargo, nos permiten visualizar más claramente la estructura básica de la matriz.

Además de los insumos comprados a los otros sectores, la producción en cada sector requiere cierta mano de obra; por otra parte, supondremos que no se requiere equipo de proceso y que todos los bienes terminados y los servicios no reutilizados dentro del proceso se destinan íntegramente a consumo externo.

El flujo hipotético de bienes y servicios, basado en las suposiciones anteriores, se resume en la siguiente tabla, expresando las cantidades en unidades físicas:

TABLA 1: TABLA DE INSUMO-PRODUCTO (CASO HIPOTETICO CONSIDERADO) (EN UNIDADES FISICAS)

| Insumo de    | Producto para | Uso intermedio, |            |            | Produc to bruto |
|--------------|---------------|-----------------|------------|------------|-----------------|
|              | Agricul tura  | Manufac tura    | Servi cios | Uso fi nal |                 |
| Agricultura  | 80            | 160             | 0          | 160        | 400             |
| Manufactura  | 40            | 40              | 20         | 300        | 400             |
| Servicios    | 0             | 40              | 10         | 50         | 100             |
| Mano de obra | 60            | 100             | 80         | 10         | 250             |

Los datos de un renglón cualquiera indican la distribución de producto de los varios sectores así como la utilización de los mismos, mientras que las cantidades listadas en columna indican las fuentes de las que provienen los insumos necesarios para la producción. Por ejemplo, analizando las cantidades del sector agricultura (primer renglón) encontramos que se producen 400 unidades como producto bruto, el que se distribuye en 80 unidades de auto-consumo en el sector, 160 unidades que se venden a los consumidores finales y 160 para consumo del sector manufactura; de la misma manera, al estudiar la primera columna notamos que para lograr un producto bruto de 400 unidades, los agricultores consumen 80 unidades de sus propios productos, compran 40 unidades de artículos manufacturados y emplean 60 unidades de mano de obra.

Es pertinente hacer notar que la tabla anterior tiene una columna suma de los productos de cada sector, pero carece de un

renglón similar para los insumos; esto se debe a que las can-  
tidades contenidas en los renglones representan el mismo ti-  
po de bienes, siendo factible por lo tanto realizar la suma-  
de los insumos. Por contra partida, las cantidades que con-  
forman las columnas incluyen distinto tipo de bienes, lo --  
cual imposibilita la suma de los mismos. De lo anterior se -  
desprende que para obtener los totales de insumos y produc-  
tos es necesario transformar la matriz para obtener unidades  
congruentes. La transformación lógica es convertir las canti-  
dades a "dinero" como se verá más adelante.

Aun cuando se ha clasificado la economía hipotética en 3 sec-  
tores productivos, es plausible tratar a los consumidores co-  
mo un cuarto sector cuyo producto es la mano de obra, mien-  
tras que los bienes finales y servicios son los insumos utili-  
zados en la producción de la misma. El tratar a los consumi-  
dores de esta manera nos permite establecer un "sector de -  
consumo" que se ajusta a los alineamientos de la matriz en -  
forma similar a los otros sectores. Sin embargo, consumir -  
bienes no es lo mismo que producir la mano de obra; de hecho  
los consumidores pueden alterar sus hábitos de gasto sin al-  
terar por ello su habilidad para trabajar; concretamente, el  
consumo no está relacionado físicamente con la cantidad de -  
trabajo, como es el caso de las otras relaciones de insumo -  
producto. En la práctica el sector de consumo se considera -  
como variable autónoma, independiente de la oferta de mano -  
de obra; esto es, los consumidores pueden alterar sus hábi-

tos sin laterar las relaciones básicas de la matriz.)

### IDENTIDADES BASICAS DE LA MATRIZ DE INSUMO-PRODUCTO

Para facilitar el análisis adoptaremos la siguiente notación: sub-índice 1: agricultura; sub-índice 2: manufactura; sub-índice 3: servicios.

$X_i$  = producto bruto del sector i

$X_{ij}$  = ventas del sector i al sector j

$D_i$  = producto final del sector i

La relación básica para los renglones de la tabla 1 queda como sigue:

$$X_i = (X_{i1} + X_{i2} + X_{i3}) + D_i$$

lo que expresado en palabras nos dice que el producto de un sector está constituido por los productos intermedios vendidos a los otros sectores, más el producto final que se vende a los consumidores. Nótese que se hace una distinción entre producto final e intermedio dado que la palabra final, en nuestro caso, se aplica a todos aquellos bienes que no son reutilizados en el proceso productivo de otro sector, sino que son utilizados directamente por los consumidores.

Dado que se consideran tres sectores productivos en nuestro ejemplo, podemos establecer un sistema de tres ecuaciones; y si aplicamos notación matricial, obtenemos un sólo término que incluye a los tres sectores mencionados. Al eliminar la última columna y el último renglón de la tabla 1 generamos la matriz "T", que representa el flujo intersectorial de transacciones en la que se involucran los productos intermedios.

$$T = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{bmatrix} = [X_{ij}]$$

Cada columna de la matriz "T" representa la estructura de insumos de un sector. Si  $T_i$  es el  $i$ ésimo vector columna de la matriz:

$$T_i = \begin{bmatrix} X_{1i} \\ X_{2i} \\ X_{3i} \end{bmatrix}$$

entonces  $T_i$  representa las cantidades de productos intermedios utilizados por el sector  $i$ .

Agrupando los productos finales podemos generar el vector producto final  $D$ :

$$D = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix}$$

que enlista las cantidades de cada tipo de bien que compran los consumidores. También podemos agrupar los productos de los sectores en un vector  $X$ :

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}$$

que representa las cantidades totales de bienes que ha produ

↳ cido cada sector.

Tomando en consideración los postulados anteriores, podemos escribir las relaciones básicas de los renglones de la tabla L, de la siguiente manera:

$$X = T_1 + T_2 + T_3 + D$$

Si bien la tabla 1 resume las compras y ventas brutas de los sectores que constituyen nuestra economía hipotética, también es cierto que describe el status tecnológico de la producción; es decir, que para producir 400 unidades agrícolas se requieren 40 unidades de artículos manufacturados y 60 unidades de mano de obra; lo cual nos induce a preguntar: ¿cuáles serían los niveles de insumo para producir una cantidad distinta de bienes agrícolas?. La teoría tradicional de producción postula con frecuencia relaciones no lineales entre los insumos y el producto; concretamente, establece que las relaciones requeridas (insumos) para producir una unidad varían conforme cambia el nivel de producción. Lógicamente, si desconocemos las relaciones específicas de insumo-producto de una industria en particular, no nos es posible reconocer los requerimientos de insumos para una cierta producción. La teoría económica de insumo-producto asume relaciones llanas de este tipo: cuando cambia el nivel de producción, las cantidades de insumos requeridos varían proporcionalmente, a lo que se denomina funciones de producción de proporciones fijas. Siendo estas la base fundamental de la técnica de insumo producto, haremos adelante un análisis más profundo de ellas.

Es conveniente, entonces, contribuir una tabla donde se <sup>para</sup> indica <sup>se realiza una</sup> los requerimientos de insumo para la producción de una unidad; tal <sup>se realiza una</sup> tabla se conoce como "tabla de coeficientes técnicos de insumo-producto" o simplemente "tabla de coeficientes técnicos", dado que las cifras que la componen reciben dicho nombre. Se utiliza la palabra "técnico" ya que en una tabla de este tipo se ilustra claramente la tecnología de producción, en tanto que el volumen de transacciones intersectoriales no es ya directamente visible. En la tabla 2 se muestra la "tabla de coeficientes técnicos" derivada de la de insumo-producto que anotábamos en un principio:

TABLA 2: TABLA DE COEFICIENTES TECNICOS

| Insumo de    | Producto para |              |           |
|--------------|---------------|--------------|-----------|
|              | Agricultura   | Manufacturas | Servicios |
| Agricultura  | .2            | .4           | 0         |
| Manufactura  | .1            | .1           | .2        |
| Servicios    | 0             | .1           | .1        |
| Mano de obra | .15           | .25          | .8        |

La construcción de esta tabla es relativamente simple. Basta con dividir los diversos insumos de cada sector entre el producto de ese sector. Por ejemplo, la primera columna de la tabla 2 se obtiene dividiendo la primera columna de la tabla 1 entre el producto bruto del sector agrícola.

Si definimos el coeficiente técnico  $a_{ij}$  como la cantidad de producto  $i$  necesaria para producir una unidad de producto  $j$  tendremos:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$$

$$x_{ij} = a_{ij} \cdot x_j$$

Es decir, que para determinar la cantidad de producto  $i$  necesaria para producir una cierta cantidad de producto  $X_j$  se requiere simplemente evaluar el producto  $a_{ij}X_j$ .

De la misma manera en que evaluamos la matriz intersectorial de producción "T", podemos construir una matriz técnica intersectorial que llamaremos A: así:

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11}/x_1 & X_{12}/x_2 & X_{13}/x_3 \\ X_{21}/x_1 & X_{22}/x_2 & X_{23}/x_3 \\ X_{31}/x_1 & X_{32}/x_2 & X_{33}/x_3 \end{bmatrix}$$

El producto bruto del sector  $i$  sería entonces:

$$X_i = \sum_{j=1}^3 X_{ij} + D_i = \sum_{j=1}^3 a_{ij} X_j + D_i$$

y el vector  $X$  de producción:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^3 a_{1j} X_j \\ \sum_{j=1}^3 a_{2j} X_j \\ \sum_{j=1}^3 a_{3j} X_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix}$$

Desarrollando el segundo término de la ecuación:



Desarrollando el segundo término de la ecuación:

$$\begin{bmatrix} \sum_{j=1}^3 a_{1j}X_j \\ \sum_{j=1}^3 a_{2j}X_j \\ \sum_{j=1}^3 a_{3j}X_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 \\ a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + a_{33}X_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}$$

de donde:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix}$$

o sea:

$$X = AX + D$$

o lo que es lo mismo:

$$D = X - AX$$

$$D = IX - AX$$

$$D = (I-A)X$$

en donde I representa la matriz identidad.)

El producto bruto, como se ha definido en párrafos anteriores, incluye la producción consumida internamente por cada sector; si esta parte se excluyera, obtendríamos el producto que representaría la producción disponible para ventas a otros sectores de la economía; así:

$$\text{producto } i = X_i - X_{ii}$$

Por otra parte, aún cuando la matriz de insumo-producto definida en unidades físicas (como ha sido el caso hasta ahora) describe de manera excelente los aspectos técnicos de la producción, tradicionalmente se ha optado por construir este tipo de tablas en términos monetarios. Esto obedece a varias razones: los datos en unidades físicas son difíciles de obtener y dado que cada industria produce por lo general varias clases de bienes distintos, sería prácticamente imposible -- agrupar los diversos tipos en una sola "producción total" -- utilizando unidades físicas. Si a esto agregamos el hecho de que la mayoría de los estudios realizados a la fecha utilizando las técnicas de insumo-producto, han sido encaminados al camño de la macro-economía, en donde las unidades monetarias son más útiles que las físicas, resulta fácil entender el porqué se prefieran, en la mayoría de los casos, las primeras para construir las matrices de insumo-producto. Teóricamente, es fácil convertir una matriz de una unidad a otra, -- una vez que se conocen los precios de los diversos bienes en consideración.

Supongamos, a manera de ejemplo, que los precios unitarios de bienes agrícolas, manufacturados, de servicio y mano de obra son 0.5, 1, 2, y 4 respectivamente. Con estos datos obtenemos a partir de la tabla 1 la tabla 3 que a continuación anotamos, multiplicando los precios por los datos indicados en la columna respectiva. Los números en paréntesis indican-

los coeficientes técnicos de la tabla 2 multiplicados por -- los precios unitarios; estas cantidades representan el dinero invertido en cada insumo para obtener una unidad de cada clase de producto.

TABLA 3: TABLA DE INSUMO-PRODUCTO EN UNIDADES MONETARIAS (CASO HIPOTETICO CONSIDERADO)

| Insumo de    | Producto para |            | <u>Uso intermedio</u> |           |      | Producto bruto |
|--------------|---------------|------------|-----------------------|-----------|------|----------------|
|              | Agricultura   | Manufatura | Servicios             | Uso final |      |                |
| Agricultura  | 40(.2)        | 80(.2)     | 0(0)                  | 80        | 200  |                |
| Manufactura  | 40(.2)        | 40(.1)     | 20(.1)                | 300       | 400  |                |
| Servicios    | 0(0)          | 80(.2)     | 20(.1)                | 100       | 200  |                |
| Mano de obra | 120(.6)       | 200(.5)    | 160(.8)               | 20        | 500  |                |
| Insumo bruto | 200           | 400        | 200                   | 500       | 1300 |                |

Como en el caso anterior, para facilitar el análisis, adoptamos la siguiente notación:

$Y_{ij}$  = ventas en dinero del sector  $i$  al sector  $j$ .

$Y_j$  = producto bruto del sector  $j$  (expresado en dinero)

$L_i$  = unidades totales de mano de obra empleadas por el sector  $i$

$l_i$  = unidades de mano de obra requeridas por unidad de -- producción en cantidades físicas.

$W_j$  = salario total pagado por el sector  $j$ .

$w_j$  = distribución de salario requerida para producir una unidad monetaria en el sector  $j$ .

$b_{ij}$  = compras del sector  $i$  requeridas por el sector  $j$  para producir el equivalente a una unidad en este último sector.

$p_i$  = precio unitario de los bienes o servicios producidos por el sector  $i$ .

$p_L$  = costo unitario de la mano de obra (equivalente salarial de una unidad de mano de obra).

Con esta nomenclatura, las relaciones entre las unidades físicas y las monetaria son relativamente sencillas y directas: - de tal forma que tendremos:

$$Y_{ij} = p_i X_{ij}$$

$$Y_j = p_j X_j$$

$$b_{ij} = \frac{Y_{ij}}{Y_j} = \frac{p_i X_{ij}}{p_j X_j} = \frac{p_i}{p_j} a_{ij}$$

$$W_j = p_L L_j$$

$$w_j = \frac{W_j}{Y_j} = \frac{p_L L_j}{p_j X_j} = \frac{p_L}{p_j} l_j$$

Es conveniente hacer notar que al construir la tabla de insumo producto en unidades monetaria, todas las cifras anotadas en la misma tienen las mismas unidades (dinero); por lo que es factible sumar tanto las columnas cuanto los renglones, contrariamente al caso de que fuese construída en unidades físicas. En la tabla 3 hemos incluido un nuevo renglón, el de "insumo bruto", que resulta de la suma de cada columna y que representa, por lo tanto, el costo de producción de cada sector. La última columna de la misma tabla, "producto bruto", indica, en este caso, las ventas brutas de cada sector en particular. Vale la pena hacer notar que, para este caso concreto, los costos de producción de todos los sectores son exactamente iguales a sus ventas brutas, lo que implica una ganancia nula.

Esta situación es en la práctica, lógicamente, una excepción más que una regla; por lo que normalmente es necesario balancear la suma de columnas con la suma de renglones en una tabla de este tipo. Para lograr esto, se añade un renglón que representa el "valor añadido" con lo que se logra el citado acuerdo.

#### IMPLICACIONES TEORICAS DE LAS TECNICAS DE INSUMO-PRODUCTO

En la teoría económica convencional de producción, se afirma que son muchas las combinaciones de insumos disponibles para la producción de una cantidad dada de producto. De hecho, el principal objetivo de la teoría de producción es mostrar como las empresas escogen, entre las muchas alternativas posibles, aquella que minimice los costos de producción al optimizar las combinaciones de insumos. Por así convenir al análisis teórico de la producción, los economistas definen la función de producción como la relación física entre insumos y productos. La función de producción más sencilla relaciona la producción (Q) y los insumos de mano de obra (L) y capital (K) de la siguiente manera:

$$Q = aL + bK + c$$

en donde a, b y c son parámetros que indican la productividad de la mano de obra, capital y del sistema global respectivamente; por supuesto, mientras mayores sean estos parámetros mayor será la productividad del sistema. Esta función se conoce como de producción lineal ya que todos los términos

[que involucra lo son.] Para nuestro análisis, supongamos que inicialmente se cuenta con una cantidad de mano de obra  $L_0$  y una de capital  $K_0$  para producir una cierta cifra  $Q_0$ . Según la función de producción lineal:

$$Q_0 = aL_0 + bK_0 + c$$

La misma cantidad de producto puede ser obtenida utilizando combinaciones distintas de capital y mano de obra. Por ejemplo,  $Q_0$  puede producirse incrementando el insumo de trabajo en un factor  $L$ , siempre y cuando se disminuya el insumo de capital en un factor igual a  $a/b$ . Esta substitución es fácilmente demostrable:

$$\begin{aligned} Q_0 &= a(L_0 + \Delta L) + b(K_0 - a/b \Delta L) + c \\ &= aL_0 + a\Delta L + bK_0 - a\Delta L + c \\ &= aL_0 + bK_0 + c \end{aligned}$$

Ya que la producción no varía con la substitución de  $L$  unidades de trabajo por  $a/b$   $L$  unidades de capital, el precio del trabajo ( $p_L$ ) y el del capital ( $p_K$ ), cuando el mercado es libre, deben ser tales que  $L$  unidades de trabajo cuesten lo mismo que  $a/b$   $L$  unidades de capital. Esto es:

$$p_L \Delta L = p_K a/b \Delta L$$

$$\frac{p_L}{p_K} = \frac{a\Delta L}{b\Delta L} = \frac{a}{b}$$

Es decir, cuando la relación entre los precios de mercado de ambos insumos es igual a  $a/b$  no será importante para el proceso productivo (y por ende para la empresa) el que se utilice capital o trabajo en mayor o menor grado, ya que la contri

bución a la producción del equivalente a una unidad monetaria de trabajo es exactamente igual a la del equivalente de una unidad de capital; por consiguiente, ambos insumos pueden combinarse en cualquier proporción.)

Sin embargo, si la relación de precios es distinta al cociente  $a/b$ ; por ejemplo, si es mayor que  $a/b$  entonces el equivalente a una unidad monetaria de trabajo logrará menor producción que la misma cantidad de capital por lo que se usará exclusivamente este y no trabajo en el proceso productivo.

En la función lineal de producción,  $a$  y  $b$  no sólo indican la productividad de la mano de obra y del capital respectivamente, sino también el "producto marginal" de los insumos. El -- producto marginal de un insumo se define como la adición al -- producto total atribuible a la adición de una unidad del mismo en el proceso productivo cuando el otro insumo permanece -- constante, o sea, el cambio en producción debido al cambio -- unitario de un insumo en el proceso productivo.)

Partiendo de la función lineal de producción, el cambio en -- producción debido al aumento de una unidad de trabajo se ob -- tiene como sigue:

$$\begin{aligned} Q_0 + \Delta QL &= a(L_0 + 1) + bK_0 + c \\ &= aL_0 + a + bK_0 + c \end{aligned}$$

y dado que:

$$Q_0 = aL_0 + bK_0 + c$$

entonces:  $\Delta QL = a$

De la misma forma el producto marginal del capital:

$$\Delta QK = b$$

Por otra parte, dado que  $a$  y  $b$  son constantes, la función lineal de producción implica necesariamente productos marginales constantes para ambos insumos; esto es, las cantidades totales de trabajo y capital utilizadas no afectan sus productos marginales. En conclusión, la función lineal de producción incluye el efecto de sustitución entre los factores de la producción pero no toma en consideración las posibles interrelaciones entre ellos.

La teoría económica postula que el producto marginal del trabajo disminuye a medida que aumenta la cantidad de trabajo insumida, y aumenta a medida que el capital insumido también lo hace (razonamientos similares se aplican para el caso del capital).

Una función de producción que considera tanto la sustitución cuanto la interdependencia de los factores de la producción es la función de Cobb-Douglas o función lineal-logarítmica de producción:

$$Q = cL^a K^b$$

Si expresamos la ecuación anterior en términos logarítmicos, tendríamos la siguiente expresión lineal:

$$\log Q = (\log c) + a(\log L) + b(\log K)$$

Si regresamos al caso inicial donde  $L_0$  y  $K_0$  se utilizaban para producir  $Q_0$ , tendríamos la siguiente expresión:

$$Q_0 = cL_0^a K_0^b$$

En este caso no es tan fácil demostrar la forma en que el ca-



Capital debería reducirse al aumentar el trabajo para alcanzar el mismo nivel de producción; para ilustrarlo compararemos sus productos marginales.

A manera de ejemplo, si el trabajo aumentara en una proporción igual a  $L$ , la producción total sería ahora:

$$Q_0 + \Delta Q = c(L_0 + \Delta L)^a K_0^b$$

El término en paréntesis puede ser desarrollado de acuerdo con la regla de expansiones binomiales: esto es:

$$Q_0 + \Delta Q = c(L_0^a + aL_0^{a-1}\Delta L + \frac{a(a-1)}{2!}L_0^{a-2}(\Delta L)^2 + \dots) K_0^b$$

De donde:

$$Q = c(aL_0^{a-1}\Delta L + \frac{a(a-1)}{2!}L_0^{a-2}(\Delta L)^2 + \dots) K_0^b$$

Si  $\Delta L$  es pequeño, los términos subsiguientes lo serán aún más por lo que podríamos aproximar el valor de  $\Delta Q$  utilizando únicamente el primer término de la expresión binomial, con lo que tendríamos:

$$\Delta Q = caL_0^{a-1}\Delta L K_0^b$$

El producto marginal del trabajo se calcula a partir de la expresión anterior, de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta L} = acL_0^{a-1} K_0^b = \frac{aQ_0}{L_0}$$

De manera similar el producto marginal del trabajo es:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta K} = bcL_0^a K_0^{b-1} = \frac{bQ_0}{K_0}$$

Es importante hacer notar que el producto marginal del trabajo disminuye a medida que el insumo del trabajo aumenta, y se incrementa a medida que el insumo de capital también lo -

hace. De manera similar, el producto marginal del capital - disminuye a medida que el insumo del capital aumenta, y crece a medida que el insumo de trabajo también lo hace. De las expresiones anteriores, encontramos que una unidad de trabajo es equivalente en productividad a  $\frac{aK_o}{bL_o}$  unidades de capital, ya que:

$$a \frac{Q_o}{L_o} = \frac{aK_o}{bL_o} b \frac{Q_o}{K_o}$$

Si  $L = 1$ , entonces:

$$K = \frac{aK_o}{bL_o}$$

Es decir, que una unidad de trabajo vale tanto como  $aK_o/bL_o$  unidades de capital; por lo que, en un mercado competitivo, el precio del trabajo ( $p_l$ ) debe valer  $aK_o/bL_o$  veces el precio del capital ( $p_K$ ):

$$p_l = \frac{p_K a K_o}{b L_o}$$

Si el precio de mercado  $p_l$  es mayor que  $p_K a K_o/bL_o$ , entonces el costo de producción puede ser disminuído sustituyendo capital por trabajo. A medida que el insumo de capital aumenta y el de trabajo disminuye, sus productos marginales varían inversamente, por lo que la diferencia entre los dos miembros de la ecuación anterior disminuye cada vez más. Sin embargo, siempre que esta igualdad no sea cumplida, es posible reducir los costos de producción sustituyendo un insumo por otro; toda vez que la igualdad se satisfaga no es posible ya

reducir los costos y se obtiene en ese momento el mínimo costo de producción y la combinación óptima de insumos.

De acuerdo con lo anterior, la relación óptima de capital y - trabajo puede ser expresada de la siguiente manera:

$$\frac{K_o}{L_o} = \frac{p_l b}{p_k a}$$

Es decir, la razón de insumos es inversamente proporcional a la relación de precios entre capital y trabajo, y directamente proporcional a la producción relativa entre estos dos insumos (b/a). En otras palabras, se utilizará más capital si el precio de este es bajo y su productividad es alta.

Podríamos incluso apuntar una expresión más que relaciona - los precios de ambos insumos:

$$\frac{p_l}{p_k} = \frac{\frac{a Q_o}{L_o}}{\frac{b Q_o}{K_o}} = \frac{\text{Producto marginal del trabajo}}{\text{Producto marginal del capital}}$$

Aun cuando obtuvimos este resultado para una función de producción específica (la de Cobb-Douglas), es generalmente -- cierto que si la sustitución entre insumos es posible, el mínimo costo de producción se obtiene cuando la razón de pre - cios entre los insumos es igual a la razón de sus productos- marginales.

Los productos marginales, tal como lo hemos demostrado en - las ecuaciones anteriores, dependen tanto del nivel de produc - ción cuanto de las cantidades insumidas de capital y trabajo; sin embargo, la razón capital- trabajo es independiente del -

del nivel de producción, y sólo depende de las relaciones de precios y productividad de los insumos. Esta última es una característica particular de la función de producción de -- Cobb-Douglas, pero en términos generales es de esperarse que la combinación de insumos varía con el nivel de producción. Otra propiedad importante de esta función es el hecho de que si  $a+b=1$ , al aumentar  $n$  veces los insumos la producción total se incrementará en la misma proporción. Matemáticamente:

$$\begin{aligned}
 Q_0 &= cL_0^a K_0^b \\
 Q_1 &= c(nL_0)^a (nK_0)^b \\
 &= n^{a+b} cL_0^a K_0^b \\
 &= n cL_0^a K_0^b \\
 &= nQ_0
 \end{aligned}$$

Esta propiedad se conoce como "retornos constantes a escala", lo que implica que el costo promedio de producción es el mismo en todos los niveles de ésta; es decir, que una vez que se encuentra la combinación óptima de insumos es posible obtener cualquier nivel de producción ajustando proporcionalmente los insumos al nuevo nivel.

Además de las funciones de producción analizadas, existe otra llamada "función de producción de proporciones fijas". Esta función, que no permite sustitución entre los insumos, se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$Q = c \left[ \text{mínimo} \left( \frac{L}{a}, \frac{K}{b} \right) \right]$$

en donde  $c$  es una constante que indica la productividad -

global del sistema,  $a$  y  $b$  indican la forma en que deben combinarse el trabajo y capital; esto es,  $a$  unidades de trabajo deben combinarse necesariamente con  $b$  unidades de capital. La producción se calcula multiplicando  $c$  por  $L/a$  ó  $K/b$  dependiendo de cual de ambas razones es menor (de aquí el "mínimo" en la expresión).

Con una función de este tipo existe sólo una forma eficiente de producir una cantidad determinada; es decir, si el trabajo y el capital no se combinan en la proporción  $a$  y  $b$ , la empresa pagará por recursos ociosos que no aportarán nada a la producción. Por ejemplo, si  $c=10$ ,  $a=2$  y  $b=1$ , para producir 50 unidades serán necesarias 10 de trabajo y 5 de capital; si se adquiriera más equipo sin aumentar el número de empleados no existiría ningún cambio en la producción. Además, técnicamente es imposible reemplazar los insumos aún cuando sus precios varíen. Por último, (si la producción debe incrementarse  $n$  veces, los insumos deben hacerlo en la misma forma; es decir, se aplica el caso de "retornos constantes a escala" del ejemplo anterior. Sin embargo, aquí esto es resultado de la optimización mientras que en la función de Cobb-Douglas es debido a la imposibilidad técnica de sustitución.

La técnica de insumo-producto presupone que la función de proporciones fijas se aplica en todos los procesos de producción; es por esto que los coeficientes técnicos en la matriz de insumo-producto son constantes y no variables. Esto no quiere decir que sólo existe una forma de producir un determinado

bien; tampoco implica que todos los procesos productivos son básicamente iguales, sino que se estipula que aun cuando -- existen numerosas formas de producir un bien particular, todas utilizan un cierto conjunto de proporciones fijas entre sus insumos. Además de todas las formas factibles, una es mejor en un momento dado y es esta, obviamente, la que las empresas utilizan; desde este punto de vista, se podría considerar la matriz técnica del insumo-producto como el reflejo de los mejores procesos existentes en el momento considerado. Esto es, una vez que se adopta un proceso determinado será adecuado y, por lo tanto, conservado durante un cierto período, pudiéndose utilizar en cualquier nivel de producción. -- Por supuesto, estos procesos pueden variar con el tiempo por lo que las tablas técnicas de este tipo no son válidas en períodos extensos.

### EL SISTEMA ABIERTO DE INSUMO-PRODUCTO.

Una de las aplicaciones más importantes de la tabla de insumo-producto es el cálculo de los niveles productivos de equilibrio de cada sector de la economía. La producción está en equilibrio si es igual a la cantidad demandada para cada renglón, es decir, consumo, inversión, inventarios, exportación, etc.) Discutiremos a continuación las relaciones entre el análisis de equilibrio en microeconomía y la técnica de insumo-producto.

Consideremos un mercado aislado en donde la demanda  $q_d$  y la

oferta  $q_s$  se suponen en función del precio  $p$ . Se llega al equilibrio cuando la cantidad demandada es igual a la cantidad ofrecida; el caso más simple sería cuando ambas funciones fuesen lineales:

$$q_d = dp + F_d$$

$$q_s = sp + F_s$$

$$q_d = q_s = q$$

en donde  $q$  es la cantidad de equilibrio, es decir, aquella cantidad en que la demanda es igual a la oferta. La constante  $d$  en la primera ecuación indica la influencia del precio en la demanda; mientras que la  $s$  en la segunda ecuación indica la misma influencia en la oferta. El efecto de los demás factores que modifican la oferta y la demanda se resume en las constantes  $F_d$  y  $F_s$ . Entre ellos podríamos mencionar el ingreso y gusto del consumidor, en el caso de la demanda, y el precio de los insumos y la tecnología de producción para la oferta. Por supuesto, estos factores pueden variar, pero dado que hemos supuesto un mercado aislado, es válido considerar  $F_d$  y  $F_s$  como constantes ya que no son afectados por los cambios en el resto de la economía.

Del sistema inicial,

$$dp + F_d = sp + F_s$$

de donde el precio de equilibrio, aquel que iguala la oferta a la demanda, puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$p = \frac{F_s - F_d}{d - s}$$

La cantidad de equilibrio puede ser obtenida de manera similar, sustituyendo la ecuación anterior en cualquiera de las ecuaciones originales. Así

$$q = d \frac{F_s - F_d}{d - s} + F_d$$

El resultado anterior sólo es válido de manera teórica ya que la suposición de un mercado aislado es muy poco realista. Cada mercado reacciona a los cambios en otros mercados; además, en la economía moderna esta variación es rápida y significativa generando incluso, en ocasiones, una serie de interacciones secundarias en otros mercados. Por lo tanto, para obtener resultados realmente útiles debemos tomar en cuenta la interdependencia de los mercados y esto sólo se logra en la medida en que se consideren todas las cantidades y precios como variables, resolviendo simultáneamente el sistema resultante para las condiciones de equilibrio. Por ejemplo, consideremos un sistema económico en donde existen  $n$  productos, y supongamos que la oferta y la demanda para cada producto están determinadas linealmente por los precios de todos los productos del sistema. Matemáticamente, la demanda del producto  $i$  se expresa como sigue:

$$q_{di} = d_{i1} \cdot p_i + d_{i2} p_2 + \dots + d_{in} p_n + F_{di}$$

en donde  $p_i$  es el precio del producto  $i$ , y  $d_{ij}$  indican la influencia del precio del producto  $j$  ( $p_j$ ) en la demanda del producto  $i$  ( $q_{di}$ ). En este caso el término  $F_{di}$  comprende



el efecto de todos los factores no económicos tal como el gusto de los consumidores.

De manera similar la oferta del bien  $i$  se expresa:

$$q_{si} = s_{i1}p_1 + s_{i2}p_2 + \dots + s_{in}p_n + F_{si}$$

en donde  $s_{ij}$  expresa la influencia de  $p_j$  en la oferta -- del producto  $i$ , y  $F_{is}$  indica el efecto de los factores no económicos tal como la tecnología de producción.

Podríamos indicar ahora el sistema económico global escribiendo todas las ecuaciones de oferta y demanda:

$$q_{d1} = d_{11}p_1 + d_{12}p_2 + \dots + d_{1n}p_n + F_{d1}$$

$$q_{d2} = d_{21}p_1 + d_{22}p_2 + \dots + d_{2n}p_n + F_{d2}$$

.....

$$q_{dn} = d_{n1}p_1 + d_{n2}p_2 + \dots + d_{nn}p_n + F_{dn}$$

$$q_{s1} = s_{11}p_1 + s_{12}p_2 + \dots + s_{1n}p_n + F_{s1}$$

$$q_{s2} = s_{21}p_1 + s_{22}p_2 + \dots + s_{2n}p_n + F_{s2}$$

.....

$$q_{sn} = s_{n1}p_1 + s_{n2}p_2 + \dots + s_{nn}p_n + F_{sn}$$

Definimos ahora los vectores  $q_d$ ,  $q_s$ ,  $p$ ,  $F_d$  y  $F_s$ , y las matrices  $D$  y  $S$ :

$$q_d = \begin{bmatrix} q_{d1} \\ q_{d2} \\ \cdot \\ \cdot \\ q_{dn} \end{bmatrix} \quad q_s = \begin{bmatrix} q_{s1} \\ q_{s2} \\ \cdot \\ \cdot \\ q_{sn} \end{bmatrix} \quad p = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ p_n \end{bmatrix} \quad F_d = \begin{bmatrix} F_{d1} \\ F_{d2} \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{dn} \end{bmatrix}$$

$$F_s = \begin{bmatrix} F_{s1} \\ F_{s2} \\ \vdots \\ F_{sn} \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nn} \end{bmatrix}$$

Podemos escribir ahora nuestro sistema original en notación matricial

$$q_d = D_p + F_d$$

$$q_s = S_p + F_s$$

en equilibrio:

$$q_d = q_s$$

Estos tres postulados son iguales a los indicados originalmente sólo que ahora en términos de matrices y vectores. Esta diferencia es muy importante ya que la cantidad o precio de equilibrio es ahora parte de un vector, que a su vez es la solución de las tres ecuaciones. Para obtener estas condiciones de equilibrio basta calcular la matriz inversa  $(D - S)$  de la forma siguiente:

$$(D - S)p = F_s - F_d$$

$$(D - S)^{-1} (D - S)p = (D - S)^{-1} (F_s - F_d)$$

$$p = (D - S)^{-1} (F_s - F_d)$$

$$q_d = D (D - S)^{-1} (F_s - F_d) + F_d$$

Este planteamiento conocido como el sistema de equilibrio general de Walras (en honor a León Walras) es aún un poco simplista ya que se supuso que las funciones de demanda y oferta están linealmente relacionadas con los diversos precios, siendo que la microeconomía en general postula relaciones no lineales.

Es posible también calcular las cantidades de equilibrio -- para cada sector de la economía utilizando los métodos de insumo-producto. La matriz de coeficientes técnicos provee la información necesaria para calcular la producción de equilibrio de cada sector. Existen dos planteamientos relacionados entre sí para analizar el equilibrio general utilizando este método. En el sistema abierto se considera al sector consumidor (aquel que compra la producción final y ofrece la mano de obra) como una entidad separada de los sectores productivos dado que el comportamiento del consumidor es flexible, de tal forma que los coeficientes asociados a él están sujetos a continuas modificaciones. Por otra parte, la tecnología se consodera relativamente estable, resultando que los coeficientes no asociados al consumidor se consideran fijos y constantes. Contrariamente, el sistema cerrado, cuyo estudio está fuera del objetivo de este pequeño resumen, considera al sector consumidor como cualquier otra "industria".

En un sistema abierto el consumo o la demanda final es independiente de la oferta de trabajo, es decir, no hay una conexión definitiva entre ambas. La pregunta a resolver es la siguiente: dado un número determinado de bienes y servicios finales, ¿cuál debe ser la producción de cada sector necesaria para alcanzarlos?. En otras palabras, ¿qué niveles de producción sectorial cumplirán exactamente la demanda de productos finales respaldando al mismo tiempo las actividades productivas necesarias para generar estos bienes finales?

Para responder esta pregunta regresemos al sistema planteado originalmente:

$$X = AX + D$$

Este sistema, en el ejemplo inicial, estaba constituido por tres sectores, por lo que se requieren tres ecuaciones para relacionar la producción bruta con la demanda final:

$$x_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + D_1$$

$$x_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + D_2$$

$$x_3 = a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + D_3$$

Despejando el término independiente de cada una de las expresiones tenemos:

$$(1 - a_{11})x_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 = D_1$$

$$-a_{21}x_1 + (1 - a_{22})x_2 - a_{23}x_3 = D_2$$

$$-a_{31}x_1 - a_{32}x_2 + (1 - a_{33})x_3 = D_3$$

Si lo expresamos en notación matricial:

$$(I - A)X = D$$

Despejando X:

$$(I - A)^{-1} (I - A)X = (I - A)^{-1}D$$

$$X = (I - A)^{-1}D$$

Es decir, encontramos la producción de equilibrio una vez que se conoce el valor de la matriz inversa  $(I-A)^{-1}$ . Además de la interpretación matemática obvia, esta matriz inversa tiene, para la técnica considerada, una especial interpretación: a manera de ejemplo, consideremos que el vector de demanda final está constituido como sigue:

$$D = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Esto es, suponemos que el vector de la demanda final consiste únicamente de una unidad productiva agrícola. Si indicamos por  $c_{ij}$  los elementos de la matriz inversa  $(I-A)^{-1}$ , la producción total sería:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} \\ c_{21} \\ c_{31} \end{bmatrix}$$

El resultado anterior expresa que la primera columna de la matriz inversa indica la producción bruta de cada sector necesaria para producir una unidad final del producto 1. De igual forma, los requerimientos para producir una unidad de los productos 2 y 3, están indicados por la segunda y tercera columnas, respectivamente, de la matriz invertida.

En la tabla 4 se anota la matriz invertida calculada a partir de la matriz de coeficientes técnicos apuntada en la tabla 2. Es importante hacer notar que los valores indicados en esta tabla son mayores que los correspondientes en la tabla 2; esto se debe al hecho de que la matriz de coeficientes técnicos indica los requerimientos directos de insumo necesarios para producir una unidad, mientras que la matriz invertida expresa los requerimientos directos e indirectos de producción de cada sector para producir una unidad de bien final.

TABLA 4: REQUERIMIENTOS DIRECTOS E INDIRECTOS POR UNIDAD DE DEMANDA FINAL:  $+(I-A)^{-1}$

|             | Agricultura | Manufactura | Servicios |
|-------------|-------------|-------------|-----------|
| Agrocultura | 1.3255      | 0.6040      | 0.1342    |
| Manufactura | 0.1510      | 1.2081      | 0.2685    |
| Servicios   | 0.0168      | 0.1342      | 1.1409    |

+ Cálculos basados en los datos de la tabla 2.

Para ejemplificar el párrafo anterior, tomemos el caso de la producción agrícola. La producción de una unidad de bienes agrícolas requiere el insumo directo de 0.2 unidades agrícolas y 0.1 unidades manufacturadas (según se muestra en la tabla 2). A su vez, la producción de estos insumos requiere -- 0.2 x 0.2 unidades agrícolas y 0.2 x 0.1 unidades manufacturadas para la producción de las 0.2 unidades agrícolas requeridas como insumo directo. Además, la producción de 0.1 unidades de bienes manufacturados requiere a su vez (según la tabla 2) 0.1 x 0.4 unidades agrícolas, 0.1 x 0.1 unidades manufacturadas y 0.1 x 0.1 unidades de servicio. Estas cantidades incluyen la primera ronda de requerimientos indirectos (podríamos pensar en segundas, terceras, etc. rondas de este tipo de requerimientos) y están incluidas, implícitamente, en la matriz invertida  $(I-A)^{-1}$ . Por ende, para calcular los requerimientos totales para producir una cantidad determinada de bienes finales, simplemente multiplicamos la cantidad total a producir por la columna de la matriz invertida correspondiente a ese sector. Por ejemplo, los requerimientos de producción globales para obtener 10 unidades agrícolas se obtienen multiplicando esta última cantidad por la primera columna de la tabla 4; esto es, 13.255 unidades agrícolas, 1.51 manufacturadas y 0.168 de servicio.

En párrafos anteriores mencionábamos la diferencia entre producción bruta y neta. Si tomamos en consideración, como normalmente se hace, el coeficiente técnico para determinar la-

factibilidad de una producción neta, estaremos excluyendo - los requerimientos indirectos, por lo que cabe la posibili - dad de que toda la producción bruta de un sector se utilice - indirectamente en la producción de otros bienes, con lo que - no existiría sobrante para consumo final. Por lo tanto, la - posibilidad de que un sector produzca bienes finales depende del hecho de que su producción bruta exceda los requerimien - tos directos e indirectos que los demás sectores tengan de - él; de igual manera, para producir una unidad de un bien, las cantidades directas e indirectas que los demás sectores de - manden de él no deben exceder la unidad. Esta restricción se conoce como la condición de Hawkins-Simon; para ejemplificar la consideremos la siguiente matriz de coeficientes técnicos:

$$A = \begin{bmatrix} .7 & .3 \\ .8 & .7 \end{bmatrix}$$

$$(I - A) = \begin{bmatrix} 0.3 & -0.3 \\ -0.8 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} .3 & .3 \\ \frac{-.66}{.8} & \frac{-.66}{-.66} \\ \frac{-.66}{-.66} & \frac{.3}{-.66} \end{bmatrix}$$

Es decir, que los requerimientos por unidad de demanda final son todos negativos; esto refleja una violación a la condi - ción de Hawkins-Simon y no se podrá obtener, por lo tanto, - ningún producto final.

Resumiendo todo lo antes anotado, en un sistema abierto de - insumo producto partimos de un conjunto dado de productos fi

nales y servicios, y calculamos a partir de ellos la producción bruta requerida de cada sector; la demanda de productos finales determina tanto la de los intermedios cuanto la oferta de los diversos productos, contrariamente al sistema de Walras donde las cantidades demandadas y ofrecidas son determinadas simultáneamente por la resolución de un sistema de ecuaciones que proporciona los precios de equilibrio; estos precios de equilibrio se unen a los sistemas de oferta y demanda para proporcionar las "cantidades de equilibrio".

Hasta ahora hemos utilizado para nuestro análisis de demanda final y requerimientos productivos las unidades físicas, pero podríamos hacerlo también en términos monetarios. Los valores monetarios de los requerimientos brutos de producción por pesos de demanda final, esto es, la matriz invertida  $(I-B)^{-1}$  (en donde B es la matriz indicada en la tabla 3), se enlistan a continuación:

TABLA 5.- REQUERIMIENTOS DIRECTOS E INDIRECTOS POR UNIDAD MONETARIA DE DEMANDA FINAL<sup>+</sup>: (I-B)

|             | Agricultura | Manufactura | Servicios |
|-------------|-------------|-------------|-----------|
| Agricultura | 1.3255      | 0.3020      | 0.0336    |
| Manufactura | 0.3020      | 1.2081      | 0.1342    |
| Servicios   | 0.0671      | 0.2685      | 1.1409    |

+ Cálculos basados en los datos de la tabla 3.

Cuando se utilizan las cantidades físicas en el sistema abierto, se pueden considerar los precios como variables y calcular



lar tanto los precios cuanto los niveles productivos de equilibrio. A manera de ejemplo, supongamos en todos los sectores de la economía prevalece sólo una tasa de utilidad que llamaremos  $r$ : de hecho, los economistas tienden a favorecer esta suposición sobre la base de que las empresas invierten sus recursos en las actividades que proporcionan una mayor utilidad; al hacer esto, tienden a equilibrarse las tasas de utilidad en los diversos sectores de la economía, de tal forma que el precio de cada producto, sin importar el sector en consideración, será igual a su costo promedio más un cierto margen, prácticamente constante, de utilidad.

Matemáticamente, el precio del producto  $i$  en un sector  $n$  de la economía puede ser expresado como:

$$p_i = p_1 a_{1i} + p_2 a_{2i} + \dots + p_n a_{ni} + p_L^1 l_i + p_i r$$

en donde los primeros  $n$  términos del miembro de la derecha expresan el costo de los insumos comprados a los otros sectores productivos; el término  $p_L^1 l_i$  indica el costo de la mano de obra insumida y el último término indica la utilidad. Ya que existen  $n$  sectores en la economía, podemos elaborar  $n$  ecuaciones como la anterior. Si denotamos como  $P$  al vector precio y  $l$  como el vector trabajo, entonces:

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{1n} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} + p_1 \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{bmatrix} + r \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix}$$

La matriz de  $n \times n$  apuntada arriba es de hecho la traspues-

ta de la matriz A de coeficientes técnicos, ya que han sido intercambiados los renglones y columnas de dicha matriz; por lo que el sistema anterior puede ser expresado también de la siguiente manera:

$$P = A'P + p_L l + rP$$

Este sistema consta de n ecuaciones y n+1 incógnitas -- n precios de igual número de productos además del precio de la mano de obra  $p_L$ ), es decir, haría falta una ecuación adicional para resolver completamente el sistema, debido a que hemos excluido el sector consumidor en el tratamiento del sistema abierto. Dado lo anterior, es necesario considerar que uno de los precios, así como una de las demandas finales se determina desde "afuera" del sistema de insumo-producto en consideración. Supongamos que los salarios son este precio, y agrupemos todos los términos involucrados en el vector precio de la ecuación anterior:

$$\begin{aligned} P - A'P - rP &= p_L l \\ IP - A'P - rIP &= p_L l \\ (I - A' - rI)P &= p_L l \end{aligned}$$

Despejando P:

$$\begin{aligned} (I - A' - rI)^{-1} (I - A' - rI)P &= (I - A' - rI)^{-1} p_L l \\ P &= (I - A' - rI)^{-1} p_L l \end{aligned}$$

Es decir, que una vez estipuladas las tasas salarial y de utilidad, es posible calcular los precios de equilibrio a través de la resolución de la matriz inversa  $(I - A' - rI)^{-1}$ . El desarrollo anterior, en lo que respecta a salarios y de

manda final, explica el porqué se conoce como "abierto" al sistema que acabamos de discutir. Toda vez que hemos excluído al sector consumidor del resto de la economía, se puede determinar únicamente los niveles de equilibrio de producción y precio de los sectores productivos. La demanda final y los precios de los productos no involucrados en estos sectores, están "abiertos" y deben ser determinados desde fuera del sistema en consideración.

### CAPITULO III

#### DESCRIPCION DEL MODELO UTILIZADO

Muchos países tienen que recurrir a las importaciones para - satisfacer su demanda interna de productos petroquímico, aun cuando muchas de ellas poseen reservas de petróleo y/o gas - natural que podrían no sólo explotarse hasta el nivel de -- substituir la mayoría o el conjunto total de importaciones - por su producción doméstica, sino en algún caso iniciar la - exportación.

Desde el punto de vista de la balanza de pagos, dicha substitución sería deseable y por otra parte, la construcción y la operación de las plantas sería fuente de utilización de otros recursos del país.

En la etapa de planeación, las personas involucradas deben - estimar el desarrollo de la demanda para los años venideros - y evaluar, de alguna manera, la elasticidad de la misma; así; por ejemplo, el mercado del acrilonitrilo puede crecer un 8% anual a un precio de 350\$/ton ó 12% anual si el precio es de 312\$/ton.

Si las autoridades fijan los precios dentro del país pueden - influir en el desarrollo de la demanda y consecuentemente -- adaptar la producción tendiendo a minimizar el consumo de - reservas. Las personas involucradas en la planeación buscan - la respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las impli-

caciones financieras por ejemplo desde el punto de vista de la balanza de pagos de un complejo petroquímico capaz de satisfacer la demanda interna en los próximos 5 ó 10 años?.

En un país en desarrollo sucede frecuentemente que el consumo de productos químicos industriales es menor que el volumen de producción de una planta moderna. Así pues, si se decide instalar una planta de baja capacidad, los costos de producción serán, con mucho, mayores que los de las grandes plantas instaladas en los países industrializados, por lo que si no se restringen las importaciones al país, la industria en cuestión deberá vender su producto a precios internacionalmente competitivos, lo que implica que operará con pérdidas. Los precios bajos redundan en un mayor crecimiento de la demanda; no así en el caso de precios altos impuestos por el gobierno, cuando estos sí reflejan los costos reales. En el último caso, el balance final resulta positivo para el país ya que el desembolso inicial de divisas por compra de equipo de importación, se ve más que compensado por el ahorro derivado de la operación normal de la planta.

No profundizaremos más en las implicaciones que esto tiene sobre la balanza de pagos del país; baste mencionar que para el presente estudio consideraremos una situación de este tipo a la que nos referiremos, en los subsecuentes, como "alternativa proteccionista". Sería conveniente recordar aquí la definición de coeficiente técnico de producción "aij". En el capítulo anterior se estableció como la cantidad de producto i --

consumida en la producción de una cierta cantidad  $X_j$  de producto  $j$ :

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j}$$

lo cual, como ya se dijo anteriormente, refleja el status tecnológico del sistema considerado.

Por medio de estos coeficientes podemos caracterizar cualquier complejo; lo cual, utilizando **notación matricial**, queda descrito de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Cualquier mejora en la tecnología puede cambiar la matriz; sin embargo, los cálculos se basan en la suposición de que los coeficientes se mantienen constantes en el período de tiempo considerado. Cuando existen muchos productos interrelacionados, como es el caso de un complejo petroquímico, la técnica de insumo-producto representa una forma conveniente para estudiarlo, ya que se puede caracterizar por medio de un sistema de ecuaciones lineales.

En un complejo de este tipo algunos de los productos son de consumo cautivo (parcial o totalmente), por lo que el volumen de producción debe ser mayor que el calculado a partir de la demanda externa al complejo en sí. Las capacidades de las ins

instalaciones individuales se deben adaptar a los requerimientos de producción, los que a su vez varían con respecto al tiempo. Esto es válido en nuestro caso ya que los productos considerados tienen dos usos potenciales:

- a) Cautivo, cuando el producto se utiliza en operaciones subsecuentes dentro del complejo, y
- b) Externo, para satisfacer la demanda anterior.

El procedimiento de insumo-producto resuelve el siguiente problema: ¿Qué cantidad de producto "i" se debe producir para satisfacer un universo dado de demandas para todos los productos incluyendo a "i"? De lo anterior se deduce que la información básica requerida es la demanda durante el período observado para todos los productos y los coeficientes técnicos de producción.

En la figura 6 representamos el modelo mediante un diagrama de bloques; los bloques 1 a 4 representan los volúmenes de producción necesaria y cubren lo hasta ahora expuesto.

Por otra parte, dado que la demanda externa determina las capacidades de producción necesarias, es conveniente describir su estructura con mayor detalle. En la etapa de planeación se observa cierta demanda para los productos individuales, dependiendo de los precios que prevalecen en el momento; esta demanda puede equivaler a las importaciones reales en caso de que ninguno de los productos se fabrique en el país. El casillero 5 contiene las demandas iniciales, para todos los productos considerados, en toneladas por año.

El siguiente paso es estimar el desarrollo de la demanda - con respecto al tiempo; para lo cual es necesario, en primera instancia, estimar un cierto factor de crecimiento anual - basándose en el precio inicial. Este factor junto con los precios de mercado estimados y el factor de elasticidad determinan el desarrollo de la demanda de acuerdo con la siguiente - ecuación:

$$D(T) = D(T-1) \quad 1+F.C. \quad 1-F.E. \quad \frac{P.M.(T) - P.M.(T-1)}{P.M.(T-1)}$$

En la ecuación anterior D representa demanda; F.C. factor - de crecimiento; F.E. factor de elasticidad; P.M. precio de mercado; y T indica el año en consideración.

Puesto que el factor de crecimiento básico mencionado en el - párrafo anterior (denotado en el casillero 6 del diagrama de bloques) es de carácter estimativo, se ha incluido una información adicional que pretende equilibrar las posibles modificaciones que dicho factor pueda sufrir, durante el período de tiempo considerado. Este nuevo factor está inclupido en el casillero 8.

La información descrita en el casillero 9, esto es, el desarrollo de los precios de mercado, es de capital importancia - para el modelo completo. Es lógico que la situación ideal sería poder predecir con exactitud los precios de mercado que - prevalecerán en el futuro a nivel mundial; sin embargo, considerando la imposibilidad de realizar ésto, los precios son tomados en el modelo propuesto con varias preliminares de decisión.

Como se observa en el diagrama de bloques el problema calcul



la un conjunto de precios que corresponden a los costos reales de producción dentro del complejo, los cuales toman el lugar de los precios mundiales para las iteraciones subsecuentes. La suposición básica es entonces que los precios de mercado en el país son iguales a los costos de producción, lo que es perfectamente válido para el caso de la alternativa proteccionista en consideración. Los precios de mercado mundiales, además de ser usados como variables de entrada, son importantes únicamente para definir la situación de la balanza de pagos.

Hemos estimado hasta ahora los volúmenes de producción necesarios en el período observado; suponemos que la construcción de las plantas se empieza de inmediato y que estarán listas para iniciar su operación simultáneamente. Dado que nuestro modelo no considera la posibilidad de expansiones una vez que la inversión inicial se ha llevado a cabo, la capacidad de diseño y, por consiguiente, la inicial de las unidades que forman el complejo, debe corresponder a la capacidad máxima encontrada dentro del período en consideración. Esto es, cada instalación debe tener una capacidad de producción tal que cumpla con los requerimientos máximos de producción; estos valores máximos se calculan en el casillero 11 y representan, lógicamente, las capacidades necesarias de producción.

A partir del casillero 12 se inicia lo que podría denominarse la estructura de costos del modelo. En éste se resume la información de costos de inversión, cuya recopilación es quizás

uno de los aspectos más difíciles y menos predecibles dentro del programa. La información publicada, además de no ser exhaustiva, puede no ser aplicable a condiciones distintas a las del país y el momento en que fué realizada. Sin embargo, para estudios de carácter preliminar, como el que nos ocupa esta información, conjuntamente con aquella que se obtiene de fuentes oficiales o privadas de nuestro país, puede ser -- considerada como suficientemente precisa.

Quizá de mayor importancia para el modelo es el factor que nos indica la forma proporcional en que disminuye la inversión a medida que aumenta la capacidad de la planta a instalar. Tal factor está incluido en la información recopilada en el casillero 12. La inversión total para el complejo se calcula en el casillero 13 utilizando la información del 12 y la capacidad calculada en el 11.

El casillero 14 complementa la estructura de costos del sistema, al incorporarse dos nuevos tipos de costo: fijos y de capital. Se considera que los primeros son proporcionales a la inversión total de la instalación en cuestión, en tanto no dependen del grado de explotación de la misma. Se incluyen aquí los salarios, sueldos y las prestaciones o sobresueldos.

Los costos de capital incluyen el interés y la depreciación. La tasa de interés debe estar de acuerdo con las condiciones específicas que prevalezcan en el mercado de capital del país en consideración; esto es, deben reflejar el costo real del capital con respecto a otros usos potenciales de la cantidad-

invertida. La depreciación, por su parte, expresa la disminu  
ción anual en el valor de la plata.

Con la información anterior se calcula, en el casillero 16,- el valor añadido por unidad de producción. Para el presente estudio, el valor añadido comprende los costos fijos por uni  
dad de producción, los costos de capital por unidad de pro -  
ducción, los costos de capital por unidad de producción tam -  
bién y los costos variables, haciendo a un lado en estos úl  
timos el valor de las materias primas producidas dentro del complejo. Los dos primeros términos se calculan, como mencio  
nábamos, con la información de los casilleros 11 y 14, mientras que el último consituye la información del casillero 15. Por costos variables se entiende el costo de las materias --  
primas no manufacturadas dentro del sistema: la electricidad, vapor y demás servicios, e incluso algunos de los sueldos si es que éstos dependen del grado de explotación de la planta. Este tipo de costos puede ocasionar un cierto problema de in  
terpretación en lo que se refiere a las materias primas, ya que la matriz de producción ha sido determinada de forma un tanto arbitraria; esto es, al escoger el contenido de la ma -  
triz sólo los productos principales se han tomado en conside  
ración. El que un producto pueda ser considerado como princi  
pal o no, dependerá del tipo de relaciones con los demás -  
productos del complejo, pero será finalmente una decisión --  
personal de las personas encargadas de la planeación. Por su  
puesto, sería deseable el incluir en la matriz todos los pro

productos involucrados, pero esto sería humanamente imposible - ya que cada producto que se incluyera, implicaría la adición de nuevos productos de los cuales éste producido, y éstos a su vez implicarían otros más, de tal forma que la recolección de datos sería imposible.

El paso siguiente es el cálculo de los precios al costo, los que corresponden - como mencionábamos - a los costos totales de producción por unidad de producto individual. Estos costos se calculan (en el casillero 17) trasponiendo la matriz inversa contenida en el casillero 3 y multiplicándola por el valor añadido del casillero 16 (definido en el párrafo anterior), - tal y como lo estipulábamos al discutir las técnicas de insumo-producto. Es decir, que mientras que para calcular la producción necesaria se utiliza la expresión:

$$X_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot Y_j$$

(donde  $A_{ij}$  es la matriz invertida de coeficientes técnicos;  $Y_j$  es la demanda externa del producto  $j$  y  $X_i$  la producción de  $i$ ), los precios de costo se derivan de la ecuación:

$$P_i = \sum_{j=1}^n A_{ji} \cdot V_j$$

en donde ahora  $P_i$  es el precio al costo del producto  $i$ ;  $A_{ji}$  - es la traspuesta de la matriz invertida, es decir, se han sustituido los renglones por columna en la matriz, y  $V_j$  es valor añadido por unidad de producto  $j$ .

Una vez establecido el procedimiento general del modelo, cabe

aclarar un concepto fundamental utilizado por el mismo: 1 - elasticidad precio de la demanda. Definimos este parámetro como la reacción porcentual de la cantidad demandada a los cambios en el precio, o sea el cambio porcentual en la cantidad demandada que resulta del cambio de 1% en el precio. Dado que la cantidad demandada y el precio varían inversamente, es conveniente utilizar un signo negativo en la fórmula del coeficiente con objeto de volverlo positivo.

$$\eta_{xx} = - \frac{\Delta Q}{Q} \div \frac{\Delta P}{P} = - \frac{\Delta Q}{\Delta P} \cdot \frac{P}{Q}$$

La ecuación anterior expresa la elasticidad precio de la demanda en un punto; lo que significa que el coeficiente calculado sólo es válido para pequeños movimientos. En este caso, no es importante el que se utilicen los precios y cantidades iniciales o finales, ya que, por definición, la diferencia entre ellos debe ser pequeña; sin embargo en muchos casos son mayores los cambios de precio y cantidad, lo cual genera dos coeficientes puntuales distintos dependiendo de qué cantidades se utilicen para calcularlos. En consecuencia, si esta es la situación, debemos medir la elasticidad sobre un arco de la curva de demanda en lugar de hacerlo sobre un punto específico. Una forma simplista de lograrlo consiste en calcular el promedio de las dos cifras de precio y el de las dos cantidades, con lo que la ecuación nos queda:

$$\eta = - \frac{q}{p} \frac{(p_2 + p_1)}{(q_2 + q_1)}$$

Es posible clasificar a la demanda en función del coeficiente de elasticidad de la misma, en : a) cuando  $\eta > 1$ , b) elasticidad unitaria si  $\eta = 1$  y c) inelástica para  $\eta < 1$ . Prácticamente ésto quiere decir que si la demanda es elástica un cambio porcentual dado en el precio originará un cambio porcentual mayor en la cantidad demandada; si los cambios porcentuales tanto en el precio cuanto en la cantidad demandada son iguales decimos que la demanda tiene una elasticidad unitaria y por último, el caso en que un cambio porcentual dado en el precio genere un cambio porcentual menor en la cantidad demandada corresponde al de la demanda inelástica. El hecho de que la demanda sea elástica o inelástica es un factor importante, especialmente para la política gubernamental en lo referente a mercados de bienes específicos.

Existen factores que básicamente determinan la elasticidad: - la disponibilidad de bienes sustitutos y el número de usos - que se le pueden dar al bien en cuestión. Entre más numerosos y mejores sean los sustitutos de un bien dado, mayor tenderá a ser su elasticidad; los bienes que tienen sustitutos malos y escasos, por ejemplo el trigo y la sal, siempre tenderán a tener elasticidades pequeñas; en tanto que los bienes con muchos sustitutos, por ejemplo la lana, que puede ser - sustituida por el algodón o por fibras sintéticas, tienen - gran elasticidad.

De igual modo, mientras mayor sea el número de usos posibles de un bien, tal como la lana, que se puede usar para producir ropa, alfombras, tapizados, etc. tenderá a una elasticidad -

mayor que un bien con sólo uno o pocos usos como, por ejemplo  
la mantequilla.

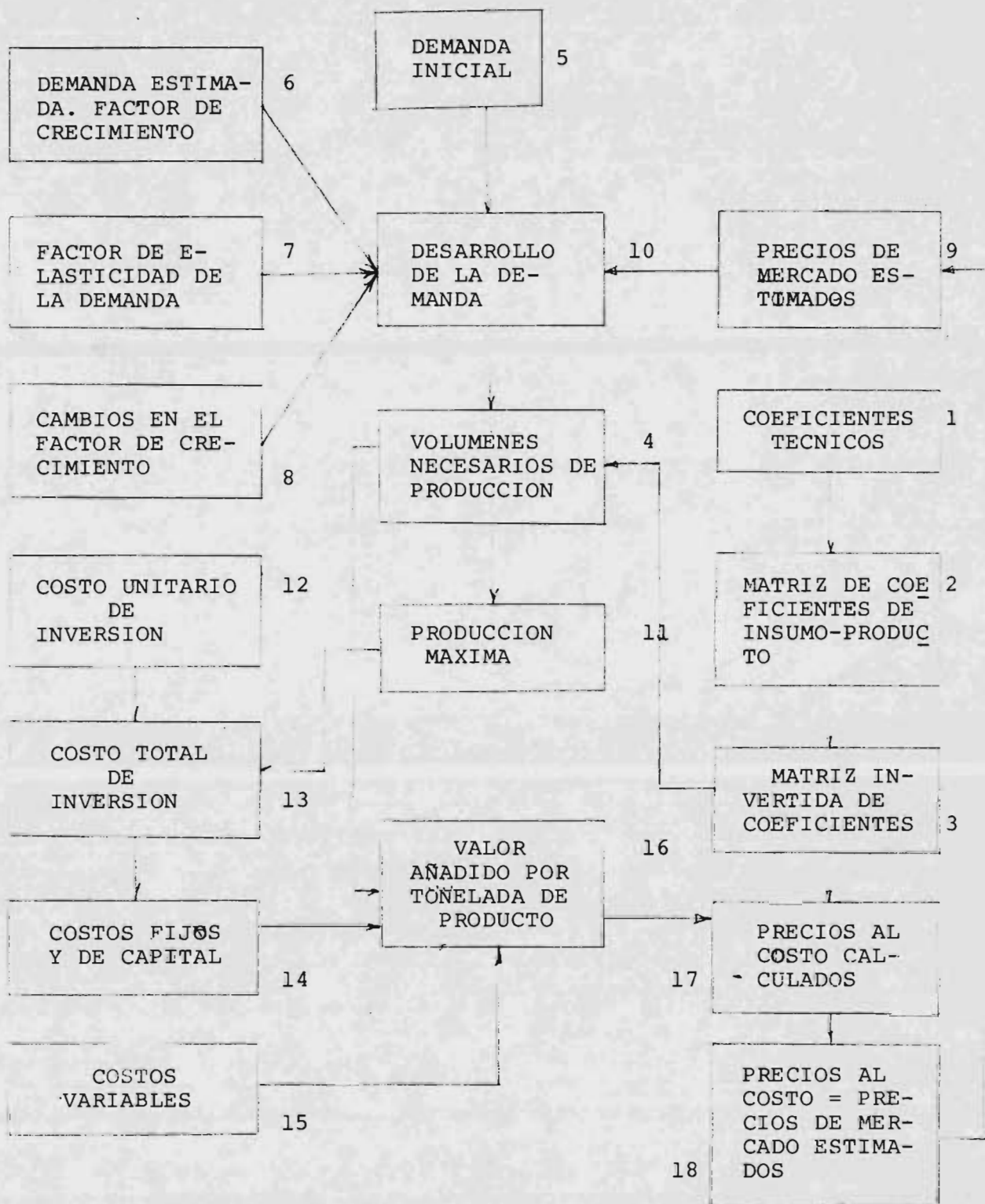


Figura 6: DIAGRAMA DE BLOQUES



## CAPITULO IV

### BREVE DESCRIPCION DE LOS PROCESOS CONSIDERADOS

En el presente capítulo nos ocuparemos de la explicación somera de los procesos involucrados en el complejo petroquímico en consideración.

La presentación incluye la descripción en sí y un cuadro en el que se recopila la información que debe suministrarse al programa para cada producto.

Por norma general seleccionamos aquellos procesos que fueran más utilizados mundialmente; y como base de justificación a lo anterior, podemos mencionar que en el caso de nuestro país, lo que se busca en la instalación de una planta es la seguridad máxima en la producción y una alta confiabilidad en lo que se refiere a calidad y resolución de problemas potenciales. En algunos casos, la selección del proceso se basó en el tipo de materias primas disponibles internamente.

Por lo que se refiere a la información de tipo económico, cabe mencionar que los datos están expresados en dólares americanos, dado que este es el tipo de divisa más comunmente utilizado.

Por último, como apuntábamos en el capítulo anterior, el programa utiliza dos parámetros calculados, como un porcentaje de la inversión total, los intereses y la depreciación, en un factor (llamado "RATE" en el programa), y los costos fi -

jos ("FIXCOS") en otro. El primero se tomó, para todos los productos, como el 14% de la inversión total, mientras que el segundo se supuso como el 1.5% de la misma.

#### 1.- BENCENO.

El benceno se puede producir mediante la deshidrogenación -- de cortes de petróleo ricos en hidrocarburos nafténicos. El proceso se lleva a cabo en presencia de gas de recirculación con alto contenido de hidrógeno para minimizar la formación de coque, lo que se conoce normalmente como "Hydroforming".- Usualmente se carga nafta virgen especialmente tratada utilizando diversos catalizadores.

Un proceso típico es el de "Platformer-Udex" en el cual la nafta y el hidrógeno de recirculación se mezclan y precalientan en un horno a una temperatura de 454-510°C y a una presión de 17-55 Kg/cm<sup>2</sup>. En estas condiciones la mezcla se pasa a través de un reactor que contiene catalizador de platino, por lo general en forma de pastillas. La deshidrogenación es una reacción exotérmica, así que para controlar adecuadamente la reacción, se utiliza un tren de reactores con enfriadores intermedios, alcanzándose una conversión de C<sub>6</sub> naftenos a benceno de un 80% por paso. El contenido natural de benceno en la alimentación (de 1 a 9%) permanece inalterado en el proceso, y el hidrógeno que se forma durante la reacción se separa del efluente del reactor y se recircula al precalentador.

Debido a que el hidrógeno frecuentemente está contaminado con  $H_2S$ , es necesario lavarlo con algún solvente selectivo como el fosfato de potasio o la etanolamina antes de recircularlo. Es necesario, también, mantener una purga periódica para evitar la acumulación de gases inertes en el sistema; la fase líquida que sale del separador se alimenta a un estabilizador en el cual se remueven, por el domo, los hidrocarburos ligeros, los que a su vez se alimentan a una desbutanizadora.

El reformado estabilizado, que contiene aproximadamente 25% de benceno, se bombea a una torre preparadora de carga de la cual, la fase rica en benceno (separada por el domo de la torre) se alimenta a la planta UDEX. Los productos de fondo se alimentan a una torre de reproceso en la cual se obtiene, -- por el domo, gasolina de aviación; y por el fondo, una fracción de hidrocarburos aromáticos demás de  $C_7$ .

El proceso UDEX consiste en una extracción por solventes en el que se utiliza dietilenglicol disuelto en agua, dado que éste tiene una alta solubilidad en hidrocarburos. Debido a la alta temperatura de ebullición del glicol, los aromáticos disueltos pueden ser destilados del solvente; por otra parte, la baja solubilidad del solvente en hidrocarburos no aromáticos y su alta solubilidad en agua permite separar el solvente del refinado sin destilar. Los aromáticos libres de solvente se filtran a través de arcilla para remover compuestos no saturados antes de una subsecuente destilación, en la que el

benceno, que se obtiene por el domo, es altamente puro (benceno de grado nitración).

| Precio de mercado \$/ton.        | Año 1          | Año 2  | Año 3                     | Año 4  | Año 5  |
|----------------------------------|----------------|--------|---------------------------|--------|--------|
|                                  | 234.67         | 261.07 | 266.93                    | 272.80 | 272.73 |
| Demanda inicial                  | 114.000 ton.   |        | Crecimiento anual         |        | 21.01  |
| Costo unitario de inversión.     | 138.00 \$/ton. |        | Corrección al crecimiento |        | +1.6%  |
| Costos variables.                | 24.34 \$/ton.  |        | Factor de elasticidad.    |        | 0.85   |
| <u>Exponente capacidad-costo</u> |                |        |                           |        |        |

## 2.- PROPILENO .

Este hidrocarburo sólo se ha producido en el país como un subproducto de los procesos de desintegración catalítica y térmica en la obtención de gasolina y de etileno. El gas rico en propano que sale de una planta de etileno contiene 50-60% de propileno, siendo el resto mayormente propano y algo de C<sub>4</sub> y C<sub>2</sub>.

| Precio de mercado \$/ton. | Año 1        | Año 2 | Año 3             | Año 4  | Año 5 |
|---------------------------|--------------|-------|-------------------|--------|-------|
|                           | 264.8        | 313.7 | 371.3             | 439.56 | 522.5 |
| Demanda inicial           | 137.000 ton. |       | Crecimiento anual |        | 24.25 |

|                                  |               |                           |       |
|----------------------------------|---------------|---------------------------|-------|
| Costo unitario de inversión      | 236 \$/ton.   | Corrección al crecimiento | +1.8% |
| Costos variables.                | 87.12 \$/ton. | Factor de elasticidad.    | 0.85  |
| Exponente capacidad-costos 0.700 |               |                           |       |

### 3.- ETILENO.

Este hidrocarburo se produce a partir del gas de refinería, el cual está constituido por una mezcla de hidrógeno y compuestos de tres o menos átomos de carbono por molécula. Este gas se purifica y se sujeta a un fraccionamiento a baja temperatura para separar el etano y el etileno; la corriente de etano se desintegra y se recircula a través de las unidades de proceso.

Un gas de refinería típico puede contener 25% de metano, 19% de hidrógeno, 15% de etano, 7% de etileno, 12% de propano, 6% de propileno y el restante 16% formado por  $N_2$ , monóxido y bióxido de carbono,  $H_2S$  e hidrocarburos superiores.

El gas de refinería comprimido se pasa a través de una unidad de absorción con etanolamina para remover el  $H_2S$  y el  $CO_2$ ; posteriormente, se lava la corriente con solución de sosa cáustica y el acetileno presente se convierte a etileno mediante una hidrogenación catalítica a 95-315°C. El gas fluente se comprime y enfría, y se seca circulándolo a través de deshidratadores de alúmina para abatir el punto de rocío a -75°C.

Aquí, el gas es parcialmente licuado mediante refrigeración para ser alimentado a una serie de columnas de fraccionamiento.

En un caso típico se utilizan tres columnas en serie: la primera para ser metano, la segunda para separar etano y etileno de otros gases, y la última para separar etano de etileno. La desmetanizadora se opera a 34 Kg/cm<sup>2</sup> y 100°C y las dos subsiguientes en condiciones no tan severas. El etano que se obtiene del fondo de la torre de etileno se desintegra a presión atmosférica a 815°C, realimentando los gases resultantes a la corriente de gas de refinería inmediatamente después de las torres lavadoras de sosa.

El etileno que se obtiene del domo de la torre de etileno alcanza una pureza hasta de 99.9% pero la recuperación de 96 a 98% de etano se puede ver afectada.

La corriente de hidrocarburos que se obtiene por el fondo de la torre desetanizadora contiene propileno, propano y algo de butano. El propileno se puede separar de los hidrocarburos de C<sub>4</sub> y aún el uno del otro en otras dos columnas en serie. Si se desea, el propano puede ser desintegrado posteriormente para ser reprocesado y así recuperar el propileno casi cuantitativamente.



| Precio de mercado \$/ton. | Año 1        | Año 2 | Año 3             | Año 4 | Año 5 |
|---------------------------|--------------|-------|-------------------|-------|-------|
|                           | 264          | 286   | 286               | 286   | 286   |
| Demanda inicial           | 203.000 ton. |       | Crecimiento anual |       | 30.46 |

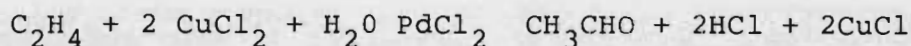
|                              |                |                           |       |
|------------------------------|----------------|---------------------------|-------|
| Costo unitario de inversión. | 129.00 \$/ton. | Corrección al crecimiento | +1.3% |
|------------------------------|----------------|---------------------------|-------|

|                  |               |                        |      |
|------------------|---------------|------------------------|------|
| Costos variables | 52.27 \$/ton. | Factor de elasticidad. | 0.85 |
|------------------|---------------|------------------------|------|

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| Exponente capacidad-costo | 0.830 |
|---------------------------|-------|

#### 4.- ACETALDEHIDO.

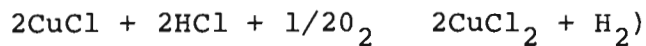
El proceso considerado utiliza etileno altamente puro (99.7%) y O<sub>2</sub> (99% de pureza) los cuales se alimentan, a 7 Kg/cm<sup>2</sup>, por el fondo, a un reactor vertical que contiene una solución de catalizador constituido esencialmente por cloruro cúprico y -pequeñas cantidades de cloruro de paladio. La reacción que se lleva a cabo en el reactor, a una presión ligeramente superior a la atmosférica, es como sigue:



Esta reacción es exotérmica y se controla mediante evaporación de agua desmineralizada; la mezcla de gases reaccionantes contiene, además de los productos, vapor y etileno que no reacciona, por lo que se somete a un proceso de agotamiento con agua en el que el acetaldehído se separa en solución. Los gases resultantes se recirculan al reactor, controlando la acumulación de inertes mediante una purga continua, la cual se alimenta a un reactor auxiliar para convertir el etileno remanente.

Durante la reacción el PdCl<sub>2</sub> se reduce a Pd y HCl, pero el oxígeno presente en el reactor no sólo reoxida el cloruro cuproso

a estado cúprico sino que reconstituye el cloruro de Pd:



Las reacciones para la formación de acetaldehído y regeneración del catalizador se pueden llevar a cabo simultáneamente en dos pasos. Con el proceso en dos pasos se opera a presiones ligeramente mayores y se puede utilizar aire como oxidante en lugar de  $\text{O}_2$ , pudiéndose utilizar también etileno de menor pureza. De cualquier forma, el rendimiento es muy similar en ambos casos y el acetaldehído obtenido se purifica por destilación.

| Precio de mercado            | Año 1          | Año 2                      | Año 3     | Año 4     | Año 5   |
|------------------------------|----------------|----------------------------|-----------|-----------|---------|
|                              | 396\$/ton.     | 440\$/ton                  | 506\$/ton | 572\$/ton | 638\$/t |
| Demanda inicial              | 94.000 ton.    | Crecimiento anual          |           | 11.55     |         |
| Costo unitario de inversión. | 148.00 \$/ton. | Corrección al ofrecimiento |           | -2.5%     |         |
| Costos variables             | 16.21 \$/ton.  | Factor de elasticidad.     |           | 0.85      |         |
| Exponente capacidad-costo    |                |                            |           | 0.700     |         |

#### 5.- CLORO.

El cloro puede ser producido por la electrólisis de la sal, de donde se obtiene de manera conjunta con el hidróxido de sodio e hidrógeno. En este proceso se introduce la salmuera-



purificada a unas celdas electrolíticas, desde cuyos ánodos se desprende cloro caliente en forma gaseosa acompañado de gran cantidad de vapor de agua; el gas se envía a unos enfriadores en donde la temperatura se reduce a 12-14°C, la cual es suficientemente alta para evitar la formación de cloro hidratado sólido que taponaría las tuberías, condensándose la mayoría del vapor.

El cloro gaseoso parcialmente seco se circula a través de unas torres de secado en donde el agua remanente es removida mediante ácido sulfúrico de 66% BÉ. Una vez seco, el cloro puede ser manejado en equipo de acero o fierro; mientras que la mezcla húmeda, por ser muy corrosiva debe ser manejada en equipo de porcelana o vidrio. El gas seco se lleva a unos compresores, los cuales por lo general crean el vacío parcial que se necesita para desalojar el cloro de las celdas electrolíticas. Estos compresores operan a presiones del orden de los 3 Kg/cm<sup>2</sup>, eliminándose el calor de compresión mediante agua y refrigeraciones sucesivas con lo que se logran temperaturas del orden de -30 a -45°C. Se pueden utilizar refrigeraciones en una etapa o en etapas múltiples dependiendo básicamente del grado de compresión, utilizándose por lo general amoníaco, bióxido de carbono o freón como refrigerante. El cloro líquido resultante se almacena para distribuirse en cilindros o carros tanque según sea el caso.

Existe un gas residual menos compresible llamado gas de soplado ("blow gas"), el cual consiste en una mezcla de gas y

cloro que usualmente se utiliza dentro de la misma planta - para producir derivados tales como el polvo blanqueador. El cloro que se obtiene con este proceso alcanza una pureza de 99.5% pero, si se desea, puede cometerse a procesos posteriores de purificación para alcanzar purezas del orden de 99.9%. Uno de estos procesos consiste en poner en contacto en una columna de destilación el cloro gaseoso a contra corriente con cloro líquido; otro, muy utilizado en Europa, circula la mezcla gaseosa a través de un precipitador electrostático para remover la niebla de ácido sulfúrico y cloruro de sodio, - seguido por una absorción en carbón activado para eliminar la materia orgánica. Se ha propuesto también la **utilización** de ánodos de platino-titanio en lugar de grafito que son responsables de los compuestos orgánicos clorados presentes en el producto final. También es posible obtener cloro como subproducto en la fabricación de la potasa cáustica por electrólisis del cloruro de potasio. El proceso es muy similar al antes expuesto

| Precio de mercado            | Año 1                     | Año 2  | Año 3                      | Año 4  | Año 5  |
|------------------------------|---------------------------|--------|----------------------------|--------|--------|
|                              | 150\$/t                   | 160.44 | 167.48                     | 173.45 | 177.93 |
| Demanda inicial              | 129.000 ton.              |        | Corrección al crecimiento. |        | +2%    |
| Costo unitario de inversión. | 127.00 \$/ton             |        | Crecimiento anual          |        | 20.57  |
| Costos variables             | 66.20 \$/ton              |        | Factor de elasticidad.     |        | 0.85   |
|                              | Exponente capacidad-costo |        | 0.450                      |        |        |

## 6.- DODECENO

El dodeceno ó tetrámero de propileno, como también se conoce, se produce mediante la polimerización catalítica de propileno a  $70 \text{ Kg/cm}^2$  y  $200^\circ\text{C}$ . El proceso consiste en precalentar una alimentación fresca de  $\text{C}_3$  combinados previamente con una corriente de recirculación, la que tiene la función de determinar la distribución de los diversos productos, impidiendo la formación de fracciones no deseadas. La mezcla se introduce a un reactor de polimerización que consta de varios lechos fijos de ácido fosfórico solidificado; la corriente se enfría entre cada lecho mediante la adición de propano frío. De aquí, la mezcla ya polimerizada se alimenta a una despropanizadora - en donde el propano, que entró con la alimentación inicial, - se separa y el sobrante se recircula.

La mezcla resultante se introduce a otras dos torres en donde se eliminan, primero, los polímeros (que se vuelven a fraccionar si se desea producir también el trímero) y, posteriormente, los polímeros pesados, resultando una corriente de tetrámero que es en realidad una mezcla de varios isómeros pesados. Es necesario aún una destilación cuidadosa para obtener un producto de calidad adecuada; se puede obtener rendimiento del orden de 95% recirculando la mezcla de polímeros ligeros al reactor de polimerización.

| Precio de mercado | Año 1       | Año 2    | Año 3             | Año 4    | Año 5   |
|-------------------|-------------|----------|-------------------|----------|---------|
|                   | 200 \$/t    | 300 \$/t | 400 \$/t          | 500 \$/t | 600\$/t |
| Demanda inicial   | 57.000 ton. |          | Crecimiento anual | 9.04     |         |

|                             |              |                           |       |
|-----------------------------|--------------|---------------------------|-------|
| Costo unitario de inversión | 60.00 \$/t   | Corrección al crecimiento | -1.2% |
| Costos variables.           | 2.34 \$/ton. | Factor de elasticidad     | 0.85  |
| Exponente capacidad-costo   |              | 0.580                     |       |

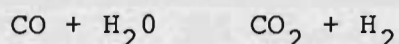
### 7.- AMONIACO.

El nitrógeno y el hidrógeno pueden reaccionar catalíticamente a altas temperaturas y presiones en una relación de 1 a 3 para producir amoniaco. El nitrógeno se obtiene, por lo general, por licuación del aire, mientras que el hidrógeno se obtiene de muchas fuentes, fundamentalmente de gas natural, como lo consideraremos aquí.

El gas natural se precalienta y se hace pasar a través de un catalizador de "bauxita" para eliminar el azufre y después se mezcla con vapor en un horno de reformación. Utilizando un catalizador de níquel, el 70% de metano presente se transforma en CO e hidrógeno; este gas se alimenta a un horno de combustión en donde se le agrega suficiente aire para obtener concentraciones de hidrógeno y nitrógeno, que eventualmente resultarán en la relación molar 1 a 3 requerida para la síntesis del amoniaco. La cámara de combustión también contiene un catalizador de níquel, de tal forma que la reformación se completa en este equipo. Las presiones en esta unidades varían desde los 2 6 4 Kg/cm<sup>2</sup> de las plantas antiguas hasta las de 35 Kg/cm<sup>2</sup> --

utilizadas en las modernas, y la temperatura es alrededor de 930°C.

Posteriormente, los gases se enfrían hasta 430°C y se alimentan a un reactor en donde, en presencia de catalizador de óxido de fierro, el monóxido de carbono se reduce a menos de 1% por medio de la reacción del gas de agua:



El gas se enfría y se comprime a 14 Kg/cm<sup>2</sup> y se envía a un sistema de purificación en donde el CO<sub>2</sub> se absorbe en una solución de monoetanolamina. Los restantes óxidos de carbono se hidrogenan para formar metano, circulando los gases a través de un catalizador de níquel.

Otros procesos muy utilizados para la preparación y purificación de este gas de síntesis son la oxidación parcial de hidrocarburos y el tratar con hidrógeno líquido los gases de salida de las reformadora catalíticas, cuyos detalles no incluiremos en este breve resumen.

Independientemente de la forma en que se obtenga, la mezcla purificada nitrógeno e hidrógeno, en la relación de uno a tres, se comprime para llevarla a la presión requerida para la reacción (usualmente 300 atm) y se alimenta a la unidad sintetizadora de amoníaco. Antes de entrar al reactor, el gas comprimido se filtra y se mezcla con una corriente de circulación compuesta de hidrógeno y nitrógeno que no han reaccionado, lográndose mediante intercambiadores de calor internos, elevar la temperatura de la alimentación a 475°C.

El reactor contiene un catalizador de óxido de fierro que ha sido enriquecido por la adición de óxidos de aluminio (3%) y potasio (1%). El óxido de fierro se reduce a fierro por la acción de la mezcla de hidrógeno y nitrógeno, produciéndose partículas porosas de fierro. Es muy importante que la mezcla sea pura, ya que la actividad del catalizador se ve notablemente disminuida al ponerse en contacto con P, As, S. y CO. Los gases que salen del reactor se enfrían a  $-10^{\circ}\text{C}$  y una parte del amoníaco se licúa. Parte del gas se purga para prevenir la acumulación de diluyentes tales como el argón, utilizándose esta purga como combustible. El gas remanente se comprime y recircula obteniéndose una conversión por paso de 20 a 22% y un rendimiento total de 85 a 90%. Existe una gran variedad de procesos similares al descrito, diferenciando, por lo general, en el método de preparar y purificar el gas de síntesis, y en el diseño del convertidor de amoníaco; todos ellos operan, sin embargo dentro del margen de las 300 a 600 atm.

|                              |               |                           |        |        |        |
|------------------------------|---------------|---------------------------|--------|--------|--------|
| Precio de mercado            | Año 1         | Año 2                     | Año 3  | Año 4  | Año 5  |
|                              | 190 \$/t      | 168.56                    | 162.94 | 158.70 | 155.32 |
| Demanda inicial              | 1,049.000 ton | Crecimiento anual         |        | 15.22  |        |
| Costo unitario de inversión. | 49.00 \$/ton. | Corrección al crecimiento |        | +2.5%  |        |
| Costos variables             | 26 \$/ton.    | Factor de elasticidad     |        | 0.85   |        |
| Exponente capacidad-costo    |               |                           |        | 0.580  |        |

## 8.- CUMENO.

El cumeno (isopropilbenceno) puede ser producido por la alquilación, tanto en fase líquida cuanto de vapor, de benceno con propileno. En la fase líquida, el catalizador es generalmente ácido sulfúrico, mientras que en la de vapor es el ácido fosfórico o el cloruro de aluminio. La reacción se lleva a cabo en un reactor de alquilación que consta de varios lechos de catalizador, de donde la mezcla resultante pasa a través de tres columnas de separación, en las cuales se separan las fracciones de propano y benceno que no han reaccionado para ser recirculadas a las corrientes de entrada. El cumeno así obtenido tiene una pureza suficiente para ser utilizado en la fabricación del fenol, que es su principal aplicación.

| Precio de mercado            | Año 1          | Año 2    | Año 3                     | Año 4    | Año 5   |
|------------------------------|----------------|----------|---------------------------|----------|---------|
|                              | 319 \$/t       | 308 \$/t | 286 \$/t                  | 286 \$/t | 286\$/t |
| Demanda inicial              | 24.000 ton.    |          | Crecimiento anual         | 13.59    |         |
| Costo unitario de inversión. | 294.00 \$/ton. |          | Corrección al crecimiento | + 2%     |         |
| Costos variables             | 8.11 \$/ton.   |          | Factor de elasticidad.    | 0.85     |         |
| Exponente capacidad-costo    |                |          |                           | 0.750    |         |

## 10.- ETILBENCENO.

La mayor parte del etilbenceno se obtiene sintéticamente me -

dante la alquilación de benceno con etileno por medio de - dos procesos: el proceso Alkar, desarrollado por la Universidad Oil Products, que presenta la ventaja de consumir materiales más baratos, ya que es posible utilizar corrientes de etileno muy diluídas (hasta de 10%), y el proceso clásico, - que representa la mayor aportación de la producción mundial - y que utiliza benceno con 99% de pureza, y una corriente de etileno de 95% de concentración o más. Este proceso presenta la ventaja de limitar en mayor grado la formación de polietil-benceno.

En este proceso, las corrientes puras de etileno y benceno - seco se alimentan a un reactor de alquilación, que opera a - presión atmosférica, llevándose a cabo la reacción exotérmica a 95°C.

Una pequeña cantidad de cloruro de etilo se mezcla a la alimentación como fuente de HCl que actúa como catalizador.

La corriente así formada pasa aun separador de catañizador en donde se separa éste, recirculándose el recuperado al reactor, no sin antes habersele agregado catalizador fresco para continuar la reacción. La mezcla, libre de catalizador, pasa a unos recipientes de lavado y posteriormente a una columna de benceno en la que se separa éste para ser recirculado. La fracción del fondo de la torre se lleva a una columna de etileno en donde, por el domo, se obtiene el etilbenceno.

Otra fuente de obtención es la recuperación del etilbenceno - que se encuentra en las corrientes de aromáticos C<sub>8</sub> proveniendo



tes del reformado catalítico, mediante su superfraccionamiento.

| Precio de mercado            | Año 1         | Año 2    | Año 3                     | Año 4    | Año 5      |
|------------------------------|---------------|----------|---------------------------|----------|------------|
|                              | 132 \$/t      | 154 \$/t | 154 \$/t                  | 154 \$/t | 154\$/t    |
| Demanda inicial              | 44.000 ton.   |          | Crecimiento anual         |          | 16.00 \$/t |
| Costo unitario de inversión. | 41.17         |          | Corrección al crecimiento |          | +3.3%      |
| Costos variables             | 20.28 \$/ton. |          | Factor de elasticidad     |          | 0.85       |
| Exponente capacidad-costo    |               |          |                           |          | 0.600      |

#### 11.- BUTADIENO.

El proceso considerado es la deshidrogenación catalítica directa de butano a butadieno en un solo paso, es decir, el llamado proceso de Houdry. En este proceso se forman algunos butilenos los cuales pueden ser recirculados o utilizados en la manufactura de gasavión. La alimentación fresca de butano y los gases recirculados se precalientan a 650°C y se pasan a través de un reactor de lecho fijo. El reactor es un tanque horizontal de acero que contiene un catalizador de cromo en alúmina a una temperatura de 600 a 650°C y a una presión de 6inHg absolutas. Si se mantiene un flujo de 1 a 1.5 vol/h de carga por unidad de volumen de catalizador soportado, el reactor se puede mantener operando de 8 a 10 minutos; antes de --

que la temperatura baje a 600°C, la alimentación precalentada se transfiere a otro reactor que ya se tiene a la temperatura adecuada. El catalizador del primer reactor, que ha quedado cubierto con carbón, se regenera insitu purgado el reactor a vacío para eliminar hidrocarburos y después circulando aire caliente para quemar el carbón, con lo que se logra calentar nuevamente el catalizador a la temperatura de reacción. La capacidad calorífica de la alúmina es suficiente para mantener la temperatura de reacción de 8 a 10 minutos que estará en operación el reactor. Después de la regeneración, el reactor se debe purgar con vapor. Así pues, de acuerdo con lo anterior, se requiere un mínimo de tres reactores en paralelo: uno en operación, uno en regeneración y el otro en purga de vapor. La mayoría de las plantas tienen 5 o más reactores. A los productos fluyentes del reactor se les hace circular por unas torres estabilizadoras y, posteriormente, se les eliminan los ligeros y pesados sucesivamente por absorción. El producto fluyente se fracciona para producir un corte de C<sub>4</sub> para extracción, utilizando acetato de amonio o furfural como extracto. El rendimiento de butadieno es de 11 a 11.5% en peso, por paso. La fracción de butano-butileno, que resulta de la extracción, puede ser utilizada para producir gasolinas de aviación o puede ser recirculada al reactor, en cuyo caso el rendimiento total de butadieno es de 50 a 60% en peso.

| Precio de mercado            | Año 1       | Año 2                     | Año 3                      | Año 4    | Año 5    |
|------------------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|----------|----------|
|                              | 396 \$/t    | 462 \$/t                  | 484 \$/t                   | 528 \$/t | 550 \$/t |
| Demanda inicial              | 46.000 ton. |                           | Crecimiento anual          |          | 11.45    |
| Costo unitario de inversión. | 148.00 \$/t |                           | Corrección al crecimiento. |          | +1.37%   |
| Costos variables.            | 54.01 \$/t  |                           | Factor de elasticidad      |          | 0.85     |
|                              |             | Exponente capacidad-costo |                            | 0.680    |          |

## 12.- VCM (Monómero de cloruro de vinilo)

El dicloroetano se vaporiza y se seca, y en estas condiciones se pone en contacto con un catalizador de carbón activado, el cual visualmente se empaca en tubos de acero inoxidable calentados directamente en un horno de desintegración. A 3.5 Kg/cm<sup>2</sup> y a temperaturas de 480 a 510°C en los gases de salida, es posible obtener conversiones del orden de 50% por paso y rendimiento totales de 95 a 96%.

La corriente que sale del horno se pone en contacto con dicloroetileno frío para condensarla; los vapores que quedan se pasan por un condensador de superficie y los incondensables se absorben con agua para recuperar el HCl. Las corrientes combinadas de líquidos provenientes del condensador por contacto y del condensador de superficie se alimentan a una columna fraccionadora operada con la suficiente presión para obtener el -

cloruro de vinilo, condensando los vapores del domo en un condensador de agua. La corriente del fondo se alimenta a una segunda columna en donde se separa el dicloroetano de las fracciones pesadas y, una vez condensado, se recircula parte al condensador por contacto y parte al tanque de alimentación.

En la mayoría de las plantas, las instalaciones para cloruro de vinilo se construyen adyacentes a la planta de dicloroetano; así se puede considerar que las materias primas para el cloruro de vinilo son esencialmente etileno y cloro.

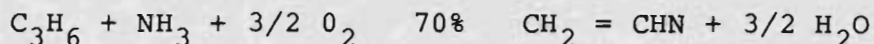
En una planta grande, en la que se obtienen cantidades considerables de cloruro de etilo, se utiliza un proceso similar al descrito para deshidroclorarlo y producir cloruro de vinilo.

| Precio de mercado           | Año 1        | Año 2                     | Año 3    | Año 4    | Año 5   |
|-----------------------------|--------------|---------------------------|----------|----------|---------|
|                             | 286 \$/t     | 330 \$/t                  | 374 \$/t | 396 \$/t | 440\$/t |
| Demanda inicial             | 129.000 ton. | Crecimiento anual         |          | 16.03    |         |
| Costo unitario de inversión | 12.00 \$/t   | Corrección al crecimiento |          | +2.73%   |         |
| Costos variables            | 53.55 \$/t   | Factor de elasticidad.    |          | 0.85     |         |
| Exponente capacidad-costo   |              |                           |          | 0.800    |         |

### 13.- ACRILONITRILO.

El acrilonitrilo se produce haciendo reaccionar una mezcla -

de propileno, amoniaco y aire en presencia de catalizador, - de acuerdo con la siguiente reacción:



El propileno de refinación, amoniaco grado fertilizante y aire se mezclan en las siguientes proporciones volumétricas: - 1 parte de propileno, 1 de  $\text{NH}_3$  y 2 de  $\text{O}_2$ , y se alimentan a - un reactor de lecho fluidizado. El catalizador es un compuesto de molibdeno soportado que consta de un 50 a 60% de fosfomolibdato de bismuto en sílice. Se puede utilizar como diluyente un volumen de vapor por columnen de propileno para incrementar el rendimiento.

A las condiciones de reacción de  $450^\circ\text{C}$ , 2 a 3 atm. y 25 seg. de tiempo de contacto, el propileno se convierte en acrilonitrilo con un rendimiento de 70% del teórico. Los principales subproductos son acetonitrilo y ácido cianhídrico. Una libra de propileno produce 0.73 lb de acetonitrilo y 0.13 lb. de - ácido cianhídrico.

Los productos fluentes del reactor se alimentan a una columna de absorción con  $\text{H}_2\text{O}$  para separar los gases y el propileno no reaccionado; la solución de acrilonitrilo que se obtienepor el fondo se alimenta a un separador en el que se obtiene acrilonitrilo húmedo en el domo; a continuación se seca y se purifica por destilación. Previamente a la destilación final, las impurezas pesadas son estabilizadas con pequeñas cantidades de ácido oxálico, y el acetonitrilo que se obtiene por - el fondo del separador se purifica por métodos convencionales

de destilación.

| Precio de mercado           | Año 1                     | Año 2    | Año 3                     | Año 4    | Año 5    |
|-----------------------------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|----------|
|                             | 506 \$/t                  | 616 \$/t | 638 \$/t                  | 638 \$/t | 660 \$/t |
| Demanda inicial             | 46.000 ton.               |          | Crecimiento anual         |          | 15.79    |
| Costo unitario de inversión | 454.00 \$/ton             |          | Corrección al crecimiento |          | +1.89%   |
| Costos variables            | 175 \$/t                  |          | Factor de elasticidad.    |          | 0.85     |
|                             | Exponente capacidad-costo |          | 0.600                     |          |          |

#### 14.- DODECILBENCENO.

En este proceso se alquila el benceno con una cadena lineal de 12 carbonos o con una olefina de cadena ramificada, como puede ser el tetrámero de propileno (dodeceno). El dodeceno se prepara mediante una polimerización catalizada con ácido fosfórico a  $70 \text{ Kg/cm}^2$  y  $200^\circ\text{C}$ . El dodeceno se alimenta a la unidad de alquilación con benceno y cloruro de aluminio anhidro como catalizador; frecuentemente se utiliza un 20 a un 40% de benceno en exceso y un 2 a un 5%, del peso de los reactivos, de cloruro aluminio, controlando la temperatura de alquilación entre  $35$  y  $45^\circ\text{C}$ . Después de separar la suspensión de cloruro de aluminio de los productos de reacción, se destila en una serie de tres columnas fraccionadoras a vacío en las que la presión disminuye progresivamente. En la primera (llamada torre atmosférica) se separa el exceso de benceno por el domo y se recircula; en la segunda, a  $280 \text{ mm Hg}$ . de --

presión, se obtienen hidrocarburos que no reaccionaron y alquilado de bajo peso molecular para purificación y uso posterior; mientras que en la tercera se separa el dodecilbenceno, de las fracciones pesadas, por destilación a 40 mm Hg. El -- rendimiento de dodecilbenceno es de 85 a 95%.

| Precio de mercado         | Año 1       | Año 2    | Año 3                        | Año 4    | Año 5       |
|---------------------------|-------------|----------|------------------------------|----------|-------------|
|                           | 561\$/t     | 836 \$/t | 990 \$/t                     | 1122\$/t | 1254\$/t    |
| Demanda inicial           | 70.000 ton. |          | Costo unitario de inversión. |          | 240.00 \$/t |
| Crecimiento anual         | 6.84        |          | Corrección al crecimiento    |          | -1%         |
| Costos variables          | 59.24 \$/t  |          | Factor de elasticidad.       |          | 0.85        |
| Exponente capacidad-costo |             |          |                              | 0.600    |             |

#### 15.- ESTIRENO.

El etilbenceno purificado se precalienta con vapor hasta 160°C y por intercambio de calor hasta 500°C. Una mezcla de vapor sobrecalentado a 710°C y vapores de etilbenceno se mezclan y se alimentan continuamente al reactor en una relación de 2.6 lb de vapor por lb de etilbenceno. El reactor de lecho fijo contiene un catalizador de deshidrogenación selectiva como pueden ser Zn, Cr, Fe, o MgO soportados en carbón activado, alúmina y bauxita. El catalizador opera continuamente y tiene una vida bastante prolongada (aproximadamente 1 año); a una temperatura de catalizador de aproximadamente 600°C se pueden alcanzar con

versiones de 35 a 40% por paso. Los productos de reacción salen por el domo del reactor aproximadamente a 565°C y se enfrían, primero, con la corriente de etilbenceno que se alimenta; después por medio de vapor en cambiadores de calor y por último una serie de enfriadores de aspersion baja la temperatura del producto hasta aproximadamente 105°C, condensando los alquitranes. Un condensador final licúa el vapor, estireno, tolueno y benceno, mientras que los gases incondensables que contienen H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e hidrocarburos alifáticos ligeros se envían a un sistema de recuperación refrigerado. Los materiales condensados pasan a un tanque separador del cual se decantan los hidrocarburos y el agua se descarga al drenaje. La corriente de estireno crudo, con una composición promedio de 0.7% de benceno, 37% de estireno, 61% de etilbenceno, 1% de tolueno y 0.3% de alquitrán, se pasa a través de un recipiente que contiene azufre. Esta corriente, que contiene suficiente azufre disuelto para actuar como inhibidor de polimerización, se precalienta y se alimenta a columnas a vacío (157 mm. de presión) en las que el benceno y el tolueno destilan por el domo a 57°C. Estos materiales se separan por destilación y el benceno se recircula a la unidad de alquilación, mientras que el tolueno se almacena.

La corriente de fondo de la columna (a 90°C) que contiene estireno, etilbenceno y alquitrán se pasa a través de dos columnas a vacío en serie que operan a 35 mm. de presión y a una temperatura en el fondo de 90°C (mayores temperaturas ace



leran la polimerización); el etilbenceno se separa del estireno y se recircula al reactor. El estireno se destila en la segunda columna para remover el alquitrán y el azufre; se añade en el domo de la columna un inhibidor de polimerización y el residuo alquitranado del fondo se envía a un quemador de campo.

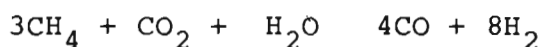
El estireno destilado pasa a los tanques receptores donde se añade más inhibidor (paraterbutil catecol) hasta llegar a una concentración de 10 ppm; el material final se refrigera-abajo de 20°C y se carga en carros-tanque aislados. El estireno, de 99 a 99.9% de pureza, se obtiene con un rendimiento total de aproximadamente 86.5% basado en el peso de benceno y etileno, mientras que el baado en etilbenceno es de aproximadamente 90%.

| Precio de mercado         | Año 1      | Año 2    | Año 3                       | Año 4    | Año 5       |
|---------------------------|------------|----------|-----------------------------|----------|-------------|
|                           | 462 \$/t   | 484 \$/t | 484 \$/t                    | 506 \$/t | 506\$/t     |
| Demanda inicial           | 71.000 ton |          | Costo unitario de inversión |          | 256.00 \$/t |
| Crecimiento anual         | 14.99      |          | Corrección al crecimiento   |          | +1.2%       |
| Costos variables.         | 9.41 \$/t  |          | Factor de elasticidad       |          | 0.85        |
| Exponente capacidad-costo |            |          | 0.600                       |          |             |

#### 16.- METANOL.

El metanol se sintetiza por la reacción de H<sub>2</sub> y CO a altas presiones. Los reactivos se obtienen en una gran variedad de

formas de diferentes materias primas; el caso más común es a partir de gas natural reformado. En este caso el gas natural se desulfura haciéndolo pasar sobre carbón activado; en estas condiciones se precalienta y mezcla con  $\text{CO}_2$  y vapor a 2 Kg/cm<sup>2</sup>. Esta mezcla se alimenta a un horno de tubos de acero de aleación empacado con un catalizador de Ni. La reacción que se lleva a cabo a 800°C es la siguiente:



El gas de síntesis resultante se enfría haciéndolo pasar a través de calentadores, cambiadores de calor y enfriadores con agua.

Un gas adecuado para sintetizar metanol se puede producir también oxidando parcialmente metano u otro hidrocarburo ligero. Otras fuentes de materia prima gaseosa que se han utilizado son las siguientes:

- 1.- Carbón y agua para producir primero coque y después gas de agua, el cual contiene aproximadamente iguales proporciones de hidrógeno y monóxido de carbono. El gas de agua se purifica añadiéndole hidrógeno que se obtiene de los hornos coquizadores.
- 2.- Gases subproductos de la fermentación. En este proceso se obtiene hidrógeno y bióxido de carbono en iguales proporciones. El último se convierte a CO haciéndolo pasar por un lecho caliente de coque.
- 3.- Gases subproductos de los hornos de carburo de calcio.

Independientemente de la fuente de que se obtenga la mezcla  $\text{H}_2$  y CO, la relación se ajusta hasta obtener aproximadamente

la teórica ( 2 vol de H<sub>2</sub> a uno de CO). Los gases mezclados - se comprimen en varios pasos hasta llegar a presiones de 200 a 350 Kg/cm<sup>2</sup> y se calientan en intercambiadores con gases de reacción. Los gases calientes se alimentan a un convertidor- de acero recubierto de cobre que contiene un catalizador mez- clado de óxido de Zn, Cr, Mn o Al; por ejemplo, óxido de Zinc con 10% de óxido de cromo. La temperatura de reacción se man- tiene aproximadamente a 300°C removiendo el calor de reacción (24600 cal/gmol de CH<sub>3</sub>OH).

Para iniciar la reacción se debe calentar el convertidor; pe- ro una vez que ésta empieza, se autosostiene controlando la- temperatura mediante intercambio de calor y el adecuado flujo másico.

Los gases fluentes del reactor, que contienen el metanol, se enfrían cambiando calor con los rectivos y se condensan a la presión de operación. Posteriormente se libera la presión y- y el metanol líquido y frío (0-20°C) queda listo para ser pu- rificado por destilación.

Los gases residuales se regresan al sistema para su reproce- so, controlando la contaminación de gases inertes mediante- purga continua. Utilizando este proceso se obtiene metanol - de 99% de pureza con un rendimiento de equilibrio superior - al 60%. Se pueden obtener como subproductos de 1 a 2% de -- éter dimetílico y de 0.3 a 0.5% de alcoholes superiores.

| Precio de mercado | Año 1                     | Año 2   | Año 3                        | Año 4    | Año 5      |
|-------------------|---------------------------|---------|------------------------------|----------|------------|
|                   | 462\$/t                   | 484\$/t | 484\$/t                      | 506 \$/t | 506\$/t    |
| Demanda inicial   | 71.000 ton.               |         | Costo unitario de inversión. |          | 300.00\$/t |
| Crecimiento anual | 14.99                     |         | Corrección al crecimiento    |          | +1.2%      |
| Costos variables  | 187.2 \$/t                |         | Factor de elasticidad.       |          | 0.85       |
|                   | Exponente capacidad-costo |         | 0.600                        |          |            |

#### 17.- OXIDO DE ETILENO.

Este producto se prepara mediante la oxidación catalítica de etileno con aire en presencia de un catalizador de plata, formando  $\text{CO}_2$  debido a la oxidación completa de parte del etileno. Etileno, de 95 a 98% de pureza, y aire, se mezclan en una relación volumétrica de 1 a 8 y se hacen pasar a través de un catalizador de óxido de plata depositado en un soporte inerte. La carga de catalizador (con un contenido aproximado de 11.6% de plata) es de 3.4 lbs/ton. de óxido de etileno, debiéndose reemplazar cada 8 meses. Generalmente se añade algo de inhibidor (dicloroetano), en concentraciones de lppm basadas en el peso de etileno, para minimizar la formación de  $\text{CO}_2$ ; o, como alternativa, se recirculan gases de desfogue del reactor en cantidad tal que la concentración de etileno en la alimentación sea de un 3 a un 5%. Si la reacción se lleva a cabo a una temperatura de 270 a 290°C, a presión atmosférica y con -

un tiempo de contacto de 1 segundo, se pueden obtener conversiones de 60%.

Los gases fluentes del reactor se lavan con agua a presión en un absorbedor. El óxido de etileno se absorbe y la solución - se envía a una columna de agotamiento a vacío, en la que se libera por el domo, y se alimenta a una columna fraccionadora para posterior purificación.

| Precio de mercado         | Año 1                     | Año 2   | Año 3                               | Año 4   | Año 5      |
|---------------------------|---------------------------|---------|-------------------------------------|---------|------------|
|                           | 594\$/t                   | 594\$/t | 572\$/t                             | 572\$/t | 550\$/t    |
| Demanda ini <u>cial</u> . | 66.000 ton.               |         | Costo unita <u>rio</u> de inversión |         | 528.00\$/t |
| Crecimiento anual         | 17.33                     |         | Corrección al crecimiento           |         | +2%        |
| Costos va <u>riables</u>  | 70.00 \$/ton.             |         | Factor de elas <u>ticidad</u> .     |         | 0.85       |
|                           | Exponente capacidad-costo |         | 0.780                               |         |            |

#### 18.- POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.

Se utiliza etileno altamente purificado (99% de pureza) el - cual se polimeriza a altas presiones (1000-2500 atm) y a altas temperaturas (100-200°C), en presencia de un catalizador de tipo peróxido en un proceso continuo en el que el etileno no reaccionado se separa del polietileno y se recircula. Las propiedades del producto se modifican, fundamentalmente el peso molecular, variando la temperatura de reacción, la concentración de catalizador y la de etileno. Por el proceso de alta

presión se obtienen pesos moleculares que van de 10,000 a 40,000, considerándose que el producto sólido tiene un peso molecular promedio de 25,000 y una densidad relativa de 0.92. El etileno de 90-95% se purifica eliminándole el metano y el etano por destilación fraccionada: se mezcla con 600 ppm de  $O_2$  y se comprime a 1500 atm. En estas condiciones, la mezcla se alimenta a un reactor tubular de acero inoxidable llevándose a cabo la reacción a una temperatura de  $190^{\circ}C$ , a la que la polimerización es rápida y altamente exotérmica. De acuerdo con lo anterior, el intercambio de calor es muy importante y debe ser cuidadosamente observado, ya que si se pierde el control del proceso, el etileno se puede descomponer en carbón e hidrógeno y se corre el peligro de explosión. En las condiciones mencionadas, la conversión es de 25%.

Los gases fluentes pasan a un separador en el que se obtiene etileno libre de  $O_2$  para recirculación, separándolo de la mezcla de polietileno líquido. El jarabe se solidifica y se lleva a un desmenuzador para obtener finalmente hojuela.

| Precio de mercado               | Año 1        | Año 2   | Año 3                       | Año 4      | Año 5   |
|---------------------------------|--------------|---------|-----------------------------|------------|---------|
|                                 | 660\$/t      | 704\$/t | 748\$/t                     | 770\$/t    | 792\$/t |
| Demanda inicial                 | 129.000 ton. |         | Costo unitario de inversión | 550.00\$/t |         |
| Crecimiento anual               | 14.12        |         | Corrección al crecimiento.  | -1.65%     |         |
| Costos variables                | 60.79 \$/t   |         | Factor de elasticidad       | 0.85       |         |
| Exponente capacidad-costo 0.650 |              |         |                             |            |         |

### 19.- POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

El polietileno se puede polimerizar para obtener un producto de alta densidad (0.97), alto peso molecular y rígido, llevando a cabo el proceso a baja temperatura, baja presión y utilizando un cierto catalizador de tipo Ziegler-Natta de alta actividad, usualmente alquilos metálicos como por ejemplo el trietilaluminio activado con derivados de metales pesados (tetracloruro de titanio). Debido a que los catalizadores son inflamables se utilizan en soluciones muy diluídas de hidrocarburos.

Para este proceso se utiliza etileno libre de metano, etano, azufre, oxígeno, agua y CO<sub>2</sub>; en estas condiciones, el etileno altamente purificado se alimenta a un reactor en que entra en contacto con la solución catalítica a 7 Kg/cm<sup>2</sup> y de 60-75°C. El fluente de reactor pasa a través de una serie de tanques de evaporación súbita en donde se separan el solvente y el polímero a 0.2-0.4 Kg/cm<sup>2</sup> y 65-70°C; es necesario añadir H<sub>2</sub>O a estos tanques para destruir el catalizador residual y formar, al mismo tiempo, una suspensión de polietileno en agua. El solvente recuperado se seca, destila y recircula. La suspensión de polietileno se concentra continuamente en una centrífuga y se seca. El H<sub>2</sub>O fluente de la centrífuga se trata y se recircula al sistema de evaporadores.

| Precio de mercado | Año 1       | Año 2   | Año 3                       | Año 4    | Año 5    |
|-------------------|-------------|---------|-----------------------------|----------|----------|
|                   | 682\$/t     | 792\$/t | 902\$/t                     | 1034\$/t | 1166\$/t |
| Demanda inicial   | 46.000 ton. |         | Costo unitario de inversión |          |          |

|                           |               |                              |             |
|---------------------------|---------------|------------------------------|-------------|
| Demanda inicial           | 46.000 ton.   | Costo unitario de inversión. | 750.00 \$/t |
| Crecimiento anual         | 14.97         | Corrección al crecimiento    | + 3.08%     |
| Costos variables          | 161.9 \$/ton, | Factor de elasticidad.       | 0.85        |
| Exponente capacidad-costo |               | 0.650                        |             |

## 20.- POLIPROPILENO .

El polipropileno se prepara polimerizando propileno altamente purificado en presencia de un catalizador. El proceso involucra 4 etapas principales: preparación del catalizador, polimerización, separación del polímero y acabado.

Para preparar el catalizador se mezclan alquillos de aluminio (una forma activa de tricloruro de titanio) con solvente altamente purificado (usualmente n-hexano o nheptano) en tanques agitados para producir la suspensión catalítica. Supuestamente el catalizador es la clave para la formación del polímero isotáctico en lugar del polímero atáctico que es altamente indeseable; con algunos catalizadores se obtiene alrededor de un 80% de polímero isotáctico, en tanto que con otros se obtienen cantidades muy cercanas al 100%.

El propileno purificado, la suspensión catalítica y los hidrocarburos solventes se alimentan al polimerizador y se mantienen, en un caso, a 65-70°C y 4 Kg/cm<sup>2</sup>. Las condiciones de operación varían según el caso, yendo desde 50 hasta 100°C y-



alcanzando presiones hasta de 20 atm. Los tiempos de residencia varían desde 10seg. hasta varias horas, dependiendo de las condiciones de reacción, la relación  $AL:T_1$  en el catalizador y el peso molecular deseado. Se utiliza por lograr suficiente solvente para producir una suspensión de polímero que contiene de un 20 a 30% de sólidos, mientras que la cantidad de catalizador adicionada es de 0.25 a 0.5% en peso con respecto a la cantidad de solvente utilizada.

El producto fluente del reactor se alimenta a un tanque en el que se vaporiza el propileno que no reaccionó, el cual después de comprimido y purificado por destilación, se recircula al polimerizador. La suspensión de polipropileno se alimenta a una centrífuga en la que se recuperan los hidrocarburos diluyentes, los que se purifican en un sistema de dos columnas de destilación. En la primera, se obtiene un corte de fondo que contiene polipimero atáctico, soluble en éñ diluyente, mientras que los fondos de la segunda constituyen el diluyente puro que se recircula al reactor. El propileno isotáctico que se obtiene de la centrífuga se suspende con metanol o isopropanol y se recentrifuga; es conveniente agregar al reactor HCl para ayudar a la destrucción del catalizador. Después de la centrifugación, el alcohol se separa del residuo catalítico y puede volverse a utilizar, en tanto que el polímero se lava en un filtro, primero con solvente orgánicos y después con agua, repitiendo la operación durante cinco veces. Después de este lavado se agrega el antioxidante y se seca.

| Precio de mercado             | Año 1         | Año 2                        | Año 3    | Año 4         | Año 5   |
|-------------------------------|---------------|------------------------------|----------|---------------|---------|
|                               | 616\$/t       | 660 \$/t                     | 682 \$/t | 704\$/t       | 726\$/t |
| Demanda inicial               | 28.000 ton.   | Costo unitario de inversión. |          | 1150.00 \$/t. |         |
| Crecimiento anual             | 15.10         | Corrección al crecimiento    |          | +3.01%        |         |
| Costos variables              | 72.45 \$/ton. | Factor de elasticidad        |          | 0.85          |         |
| Exponente capacidad-costo 0.7 |               |                              |          |               |         |

#### 21.- DICLOROETANO .

El dicloroetano se produce por la reacción (en fase líquida - ovapor) de etileno y cloro en presencia de un catalizador. En el caso de la reacción en fase gaseosa se burbujea cloro en un tanque de dibromuro de etileno, y los vapores resultantes se hacen circular a través de una torre de cloración que se mantiene a una temperatura de 40 a 50°C. En esta torre el cloro se pone en contacto con una corriente de etileno gaseoso - y los productos resultantes de la reacción se desalojan por el domo hacia un condensador parcial que se mantiene arriba de - 85°C, y de ahí a un separador. El dibromuro de etileno se licúa y se regresa al proceso, mientras que el dicloroetano gaseoso se alimenta a una columna fraccionadora para su posterior purificación. El rendimiento global es del orden de 90% Existen muchos procedimientos similares que varían fundamentalmente en el catalizador y en las condiciones de reacción. Uno

de estos procesos utiliza una alimentación de cloro y etileno gaseosos, utilizando un catalizador de aluminio o cloruro de fierro. Usando este catalizador y manteniendo temperaturas del orden de 15°C y 135°C en la alimentación y productos respectivamente, se obtiene dicloroetano gaseoso que se separa de los reactivos que no han reaccionado, por enfriamiento a 5°C. El dicloroetano así obtenido se purifica de acuerdo con lo descrito en el proceso anterior.

| Precio de mercado | Año 1                     | Año 2      | Año 3                        | Año 4    | Año 5   |
|-------------------|---------------------------|------------|------------------------------|----------|---------|
|                   | 208.34\$/t                | 208.56\$/t | 208.78\$/t                   | 209 \$/t | 209\$/t |
| Demanda inicial   | 124.000 ton.              |            | Costo unitario de inversión. |          | 38 \$/t |
| Crecimiento anual | 26.19                     |            | Corrección al crecimiento    |          | -3%     |
| Costos variables  | 50.49 \$/ton.             |            | Factor de elasticidad        |          | 0.85    |
|                   | Exponente capacidad-costo |            | 0.700                        |          |         |

## 22.- METANO.

Como ya hemos descrito en procesos anteriores, la purificación del gas natural es la principal fuente de obtención de este hidrocarburo. Esta purificación se lleva a cabo por absorción a temperatura ambiente o por fraccionamiento a bajas temperaturas. En el primero de los casos, el gas natural se pone en contacto con una corriente de hidrocarburos pesados, en condiciones tales de temperatura y presión, que se obtiene por el domo-

una corriente de metano esencialmente libre de impurezas; la corriente de fondo es purificada y recirculada.

Es posible reducir las impurezas a 5000-10.000 ppm o a 1000 2000 ppm por absorción a temperatura ambiente o a bajas temperaturas, respectivamente. La separación a bajas temperaturas, aun cuando es más costosa, puede producir una corriente con 100 ppm o menos de hidrocarburos más pesados que el metano.

| Precio de mercado | Año 1                     | Año 2     | Año 3                       | Año 4     | Año 5            |
|-------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|------------------|
|                   | 35.90\$/t                 | 45.36\$/t | 57.28\$/t                   | 72.32\$/t | 91.36\$/t        |
| Demanda inicial   | 936.504 ton.              |           | Costo unitario de inversión | 61 \$/t   |                  |
| Crecimiento anual | 12.13                     |           | Corrección al crecimiento.  | +3%       |                  |
| Costos variables  | 14\$/t                    |           | Factor de elasticidad.      | 0.85      |                  |
|                   | Exponente-capacidad-costo |           |                             | 0.800     | <del>0.800</del> |

### 23.- ETANO .

El gas de refinería, esencialmente una mezcla de hidrogeno e hidrocarburos de tres o más átomos de carbono por molécula, - es la principal fuente de obtención de etano. El proceso, que ya fue descrito en detalle en el renglón correspondiente a etileno, consta básicamente de la purificación del gas de refinería y de su subsecuente fraccionamiento a bajas temperaturas -

para separar etano y etileno.

| Precio de mercado                | Año 1        | Año 2   | Año 3                        | Año 4  | Año 5   |
|----------------------------------|--------------|---------|------------------------------|--------|---------|
|                                  | 72 \$/t      | 75 \$/t | 78\$/y                       | 81\$/t | 85 \$/t |
| Demanda inicial                  | 386.818 ton. |         | Costo unitario de inversión. | 12\$/t |         |
| Crecimiento anual                | 28.92        |         | Corrección al crecimiento.   | +2%    |         |
| Costos variables                 | 16 \$/ton.   |         | Factor de elasticidad        | 0.85   |         |
| Exponente capacidad- costo 0.700 |              |         |                              |        |         |

#### BUTANO.

El butano se recupera comunmente de la fracción de C<sub>4</sub> resultante de una unidad de recuperación de vapor de refinería. Este corte esta formado por butano, isobutano, butilanos e isobutileno y, contrariamente a lo que sucede con el propano y con el propileno que aun pueden ser separados por destilación las temperaturas de ebullición de estos hidrocarburos son tan semejantes que su separación requiere técnicas más complicadas.

El isobutileno es muchomás reactivo que los n-butilenos (aproximadamente 300 veces más) y, por lo tanto, puede ser separado de la mezcla por absorción en acido sulfúrico diluído. La mezcla resultante para el caso de obtención de butano se fracciona, obteniéndose por domo isobutano y 1-butileno, mientras que la corriente de fondo consta básicamente de butano y 2-bu

tileno. Las solefinas pueden ser separadas fácilmente por medio de un solvente específico en cada una de las corrientes, obteniéndose butano prácticamente libre de impurezas.

| Precio de mercado                | Año 1        | Año 2      | Año 3                        | Año 4     | Año 5      |
|----------------------------------|--------------|------------|------------------------------|-----------|------------|
|                                  | 185.6\$/t    | 214.53\$/t | 248\$/t                      | 286.5\$/y | 331.09\$/t |
| Demanda inicial                  | 138.000 ton. |            | Costo unitario de inversión. |           | 327 \$/t   |
| Crecimiento anual.               | 15           |            | Corrección al crecimiento    |           | +1.8%      |
| Costos variables                 | 62 \$/t      |            | Factor de elasticidad        |           | 0.85       |
| Exponente capacidad- costo 0.700 |              |            |                              |           |            |

CAPITULO V  
ANALISIS DE SENSIBILIDAD

En forma complementaria a las actividades realizadas por el programa, consideramos pertinente efectuar un estudio de sensibilidad del proyecto, tendiente a destacar aquellas variables cuyo impacto económico sea más relevante para el somplejo en consideración.

El análisis se efectuó moviendo una sola variable a la vez y determinando el efecto del cambio en los precios al costo para todos los productos.

Las variables consideradas son:

1.- Factor de elasticidad de la demanda.

La justificación para asignar diversos valores a este factor se fundamenta en el hecho de que es prácticamente imposible conocer el valor real para el universo económico considerado y lo más que se puede lograr son estimaciones, más o menos adecuadas, del mismo. En el presente caso se tomó una variación que va desde el 0.5 hasta el 1.5, con lo cual consideramos cubrir una gama de valores suficientemente amplia, aún cuando en nuestro caso particular es de esperarse que la demanda se encuentre en la región inelástica, es decir en el intervalo de valores menores a la unidad.

2.- Tasa de interés.

La variable que se modificó ("RATEX") es un factor combinado que incluye el interés sobre el capital y la depre-

ciación lineal a 10 años y solamente un financiamiento - del 50% del capital total; por ejemplo, el valor de 0.14 considerado para el caso base, comprende un 10% de depre-  
ciación y un 8% de interés por financiamiento de capital, lo que en la variable se refleja como un 4% de la inver-  
sión total.

este parámetro corresponde, efectivamente, a establecer el impacto de la tasa de interés sobre los precios de -- los productos considerados.

Se consideraron, para el estudio, tasas de interés que - van desde el 4 hasta el 16%, lo que representa un inter-  
valo considerable, sobre todo si se toma en cuenta el - elevado monto del capital en cuestión.

### 3.- Costos fijos.

Como ya se mencionó anteriormente, el programa calcula - los costos fijos ("FIXCOS") como un porcentaje del costo total de la inversión. Para el caso base se consideró un valor del 1.5% que resulta razonable en complejo de esta magnitud.

Los costos fijos comprenden, en este caso, los sueldos, - salarios y sobresueldos y prestaciones; es decir, repre-  
sentan una medida del grado de complejidad organizacio -  
nal de la empresa. Evidentemente, el calcular los costos fijos de esta manera no conduce a resultados precisos; - sin embargo, es una forma práctica de evaluar este pará-



metro. Para compensar de alguna manera la incertidumbre - al respecto, tomamos valores que oscilan de -20 a 30% de la cantidad base, lo cual, si no nos permite determinar - la cantidad real, al menos nos conduce a establecer el im- pacto que la organización de la empresa tiene sobre los - precios.

#### 4.- Costos variables.

Los costos variables incluyen todas aquellas compras que - efectúe el complejo, como son las materias primas acceso- rias y todos aquellos servicios que no se produzcan den\_ - tro de los límites de baterías.

La variación se efectuó en el intervalo de -20 a 30% so\_ - bre la cantidad base, lo que nos permite cuantificar el - efecto que tiene sobre los precios al costo de los produc\_ - tos involucrados, la buena o mala utilización de los ser- vicios por lo tanto los energéticos, así como el costo de las materias primas accesorias.

#### 5.- Costos unitarios de inversión.

Este es uno de los factores fundamentales a considerar en todo análisis de esta naturaleza, en virtud del significa\_ - tivo efecto que por lo general ejerce en la economía del- sistema.

Dado que para el presente proyecto se consideraron los proce- sos más comunmente utilizados (tecnologías ampliamente demos- tradas), el variar este factor realza el grado de atención -

que se debe prestar al diseño e implementación de las instalaciones.

Para el estudio en cuestión, se tomó una variación de -10 a -30% de la cantidad base, lo que permite evaluar el efecto que la complejidad del proceso tiene sobre los precios al costo de los productos.

Para ejemplificar lo anterior, presentamos a continuación el análisis de un caso en particular. Seleccionamos el butadieno aún cuando pudo ser cualquier otro, puesto que el objeto es enfatizar las conclusiones a las que se podría llegar, de aplicar un análisis similar a las curvas de los demás productos. Como se puede observar en la figura II-1 (ver anexo 4) una variación de una unidad (de 0.5 a 1.5) en el factor de elasticidad de la demanda genera un cambio de únicamente 3\$/ton. en el precio del producto final. En consecuencia se advierte que, aún cuando este factor haya sido erróneamente estimado, su impacto económico no es significativo, lo cual resulta congruente con el tipo de productos que nos ocupa.

Lo anterior se corrobora por tres razones fundamentales: en primer término porque, comparativamente, el número de productores de este tipo de materiales es bajo. En segundo lugar, porque el número de aplicaciones reales y potenciales de estos productos es muy amplio; y por último, debido a que no existen muchos substitutos para estos compuestos.

Por lo que respecta a la tasa de interés sobre el capital, podemos observar en la figura II-2 (ver anexo 4) que una varia-

ción del 12 al 18% en la variable "RATE" nos provoca una alza de precios de 60\$/ton. ESTo implica que cada 1% de incremento en el factor nos produce un aumento en el precio de 10\$/ton.; sin embargo, dado que hemos considerado un financiamiento externo del 50% del capital total, se concluye que por cada 1% de aumento en la tasa de interés, el precio se eleva a razón de 5\$/ton.

Es obvio, entonces, que este parámetro requiere de la máxima atención tanto del grupo de planeación cuanto del grupo de inversionistas, dado su poderoso impacto en la economía global del proyecto. Es lógico pensar que una solución deseable a este respecto, sería tratar de operar con un mínimo de financiamiento externo; sin embargo, en virtud del elevado monto de la inversión considerada, esto resulta impracticable. Por lo tanto, el camino a seguir es procurar el financiamiento del capital al mínimo interés que sea factible negociar en el mercado internacional.

En lo que se refiere a los costos fijos, podemos apreciar en la figura II-3 (ver anexo 4) que una variación de 10% en los costos se traduce en una variación de 1.4\$/ton., lo que a su vez representa el 0.5% sobre el precio base.

Estas cifras nos indican que el efecto que la complejidad organizacional de la empresa tiene sobre los precios finales - prácticamente intangible, lo cual resulta lógico en virtud de que la centralización de la administración permite que los costos derivados de la misma se diluyan entre todos los pro-

ductos del complejo.

En consecuencia, se infiere que el haber estimado los costos fijos como un porcentaje de la inversión total, no introduce ningún error apreciable en la evaluación global del complejo en consideración.

En la figura II-4 (ver anexo 4) que representa la variación del precio con respecto al cambio en los costos variables, - se ve que un aumento del 10% en los costos se refleja en un aumento de 13\$/ton., es decir un incremento del 5% sobre el precio de referencia.

La presente variación implica que estos costos tienen un impacto, en la economía del complejo, 10 veces mayor que el correspondiente a los fijos, lo que nos indica que, dentro de ciertos límites, el proyecto es más sensible a la optimización operativa que a la optimización administrativa.

Solo nos resta por analizar la influencia ejercida por la variación en el monto de la inversión sobre los precios finales de los productos.

Lo anterior se encuentra representado en la figura II-5 (ver anexo 4) de cuyo estudio se infiere que si la inversión se incrementa un 10% el precio final aumenta en 15\$/ton., o sea, - un efecto de magnitud similar al de los costos variables; sin embargo, esto es relativo, puesto que el efecto de este parámetro depende en gran medida de la complejidad del proceso considerado, lo que hace muy peligroso generalizar en este sentido.

En todo caso, lo que si es posible afirmar, es que el impacto económico de esta variable debe ser analizado detenidamente, ya que frecuentemente sólo es aventajada en magnitud por la tasa de interés sobre el capital.

Para terminar, podemos mencionar que un análisis de sensibilidad como el aquí presentado es de suma utilidad durante la etapa de planeación, puesto que destaca, desde los puntos de vista cualitativo y cuantitativo, todas aquellas variables críticas dentro del sistema, lo que permite prever (y en ciertos casos evitar) aquellas situaciones potencialmente peligrosas para el éxito del proyecto.

En el anexo 4 se encuentran recopiladas las gráficas correspondientes a los 24 productos considerados dentro del complejo.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES

Para finalizar el presente estudio presentamos a continuación las conclusiones más importantes que se derivan del mismo.

- 1.- Recomendamos la integración de plantas petroquímicas en complejos industriales de gran magnitud ya que esta práctica conlleva una serie de ventajas, tanto de tipo económico cuanto de tipo social.
- 2.- La técnica de insumo-producto representa un avance muy significativo dentro del campo del análisis económico y resulta particularmente útil cuando se aplica a sistemas o universos económicos - con gran número de interrelaciones, como es el caso que nos ocupa, ya que el enfoque matricial que se utiliza nos permite tratarlas como un todo.
- 3.- El modelo de computación utilizado presenta ciertas limitaciones y es susceptible de ser optimizado; por ejemplo, incluyendo dentro del programa - el análisis de sensibilidad o el cálculo del tiempo de recuperación de la inversión, etc. Sin embargo, su validez se fundamenta en la utilización de la técnica de insumo-producto y resulta un pun-

to de partida muy adecuado para la evaluación de complejos de este tipo.

- 4.- Constatamos la carencia de información técnico--económica que hay en México. Esta situación dificulta considerablemente la realización de estu--dios de este tipo, ya que en muchos casos es necesario estimar los parámetros, o intentar adecuar información publicada para otros países. Esto, --desde luego, amplía el margen de error de los resultados obtenidos, disminuyendo a su vez la validez misma del estudio.
- 5.- Efectuar un análisis de sensibilidad resulta imperativo en atención a lo expresado en el párrafo - anterior, ya que de esta manera es posible determinar el impacto económico de los parámetros involucrados, destacando los más importantes.  
En nuestro caso particular encontramos que el factor dominante en la economía del sistema es la tasa de interés sobre el capital.
- 6.- Al analizar la tabla comparativa de precios observamos que, en la mayoría de los casos, los precios al costo obtenidos resultan competitivos a nivel internacional, lo cual sugiere la posibilidad de efectuar un trabajo posterior que considere dentro del renglón de demandas una cierta fracción - destinada a la exportación.

## BIBLIOGRAFIA

Chase, J. D. "Plant Cost vs. Capacity: New Way to Use Exponents", Chemical Engineering, vol. 77, No. 7. April 6, 1970.

Chemical Economics Handbook. Stanford Research Institute  
Menlo Park, California.

Chiou-Shuang, Y. Introduction to Input-Output Economics,  
Holt, Reinhart and Winston.

Estrup, C. "Application of Input-Output Techniques to Chemical Marketing Problems", Industrial Marketing Management. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, Vol. 1, Jan. 1972.

Estrup, C. "The Planning of a Petrochemical Complex".  
Industrial Marketing Management, Elsevier Publishing  
Company, Amsterdam, Vol. 2, April 1972.

Faith, W. L., Keyes, D., Clark, R. L. Industrial Chemicals, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1965.

Ferguson, C. E. Teoría Microeconómica, México, Fondo de  
Cultura Económica, 1974.

Guthrie, K. M. "Capital and Operating Costs for 54 Chemical Processes", Chemical Engineering, Vol. 77, No. 13, June 15, 1970.

Hahn, A. V. The Petrochemical Industry, McGraw Hill Co.  
Inc., New York, N. Y., 1970.



Holland, F. A., Watson, F. A., Wilkinson, J. K. "Capital Costs and Depreciation", Chemical Engineering, April 1, 1974.

Holland, F. A., Watson, F. A., Wilkinson, J. K. "How to Estimate Capital Costs", Chemical Engineering, July 23, 1973.

"Hydrocarbon Precessing". Petrochemical Handbook, Gulf Publishing Co., Noviembre 1973 a 1975.

Industria Petroquímica. Evolución y Perspectivas, 1960-1985. Secretaría del Patrimonio Nacional, Vol. 1, al 4.

Jelen, E. C. Cost and Optimization Engineering, McGraw Hill, New York, 1970.

Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology, John Willey & Sons, Inc., 1963.

"La Petroquímica Mexicana". Octubre 1975, trabajo elaborado por Industrias Resistol, S. A.

McCracken, D. D. Programación Fortran IV, México, Limusa S. A., 1975.

Peters, M. S. & Timmerhaus, K. D. Plant Design and Economics for Chemical Engineers, McGraw Hill, Tokyo, 1968.

Stadherr, M. & Dale Rudd. Systems Study of the Petrochemical Industry, University of Wisconsin, Wisconsin, 1975.

A N E X O I

Programa de Computadora

















A N E X O II

Resultados del Programa

PLANEACION DE COMPLEJOS PETROQUIMICOS

1. ITERACION  
\*\*\*\*\*

DESARROLLO DE LA DEMANDA EN MILES DE TONELADAS POR A&O

\*\*\*\*\*

PRODUCTO NO.      A&O 1      A&O 2      A&O 3      A&O 4      A&O 5

MAXIMA DEMANDA DEL PRODUCTO

CON RESPECTO AL TIEMPO

\*\*\*\*\*

|    |                 |       |       |       |       |       |       |
|----|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | BENCENO         | 138.  | 163.  | 194.  | 228.  | 266.  | 266.  |
| 2  | PROPILENO       | 170.  | 202.  | 237.  | 275.  | 313.  | 313.  |
| 3  | ETILENO         | 264.  | 335.  | 429.  | 545.  | 687.  | 687.  |
| 4  | ACETALDEHIDO    | 104.  | 117.  | 132.  | 153.  | 179.  | 179.  |
| 5  | CLORO           | 155.  | 181.  | 209.  | 238.  | 265.  | 265.  |
| 6  | DODECENO        | 02.   | 67.   | 74.   | 80.   | 89.   | 89.   |
| 7  | AMONIACO        | 1206. | 1381. | 1536. | 1678. | 1798. | 1798. |
| 8  | CUMENO          | 271.  | 302.  | 331.  | 354.  | 373.  | 373.  |
| 9  | ANHID CARBONICO | 1193. | 1408. | 1619. | 1813. | 1949. | 1949. |
| 10 | ETILBENCENO     | 02.   | 83.   | 112.  | 147.  | 190.  | 190.  |
| 11 | BUTADIENO       | 51.   | 56.   | 00.   | 65.   | 69.   | 69.   |
| 12 | VCM             | 150.  | 167.  | 182.  | 194.  | 201.  | 201.  |
| 13 | ACRILONITRILLO  | 53.   | 60.   | 67.   | 73.   | 79.   | 79.   |
| 14 | DODECIL BENCENO | 75.   | 79.   | 85.   | 93.   | 102.  | 102.  |
| 15 | ESTIRENO        | 82.   | 93.   | 105.  | 117.  | 130.  | 130.  |
| 16 | METANOL         | 96.   | 111.  | 130.  | 150.  | 190.  | 190.  |
| 17 | OXIDO ETILENO   | 77.   | 89.   | 101.  | 112.  | 122.  | 122.  |
| 18 | P E B D         | 147.  | 169.  | 198.  | 237.  | 288.  | 288.  |
| 19 | P E A D         | 53.   | 58.   | 03.   | 67.   | 68.   | 68.   |
| 20 | POLIPROPILENO   | 32.   | 36.   | 39.   | 41.   | 42.   | 42.   |
| 21 | DICLOROETANO    | 156.  | 202.  | 206.  | 359.  | 495.  | 495.  |
| 22 | METANO          | 1048. | 1127. | 1182. | 1211. | 1211. | 1211. |
| 23 | ETANO           | 499.  | 629.  | 782.  | 950.  | 1148. | 1148. |
| 24 | BUTANO          | 160.  | 178.  | 196.  | 211.  | 224.  | 224.  |

VOLUMEN DE PRODUCCION EN MILES DE TON/A&O

\*\*\*\*\*

PRODUCCION NECESARIA PARA SATISFACER

LA DEMANDA EN MILES DE TON/A&O

| PRODUCTO           | A&O 1 | A&O 2 | A&O 3 | A&O 4 | A&O 5 |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 BENCENO          | 478.  | 552.  | 638.  | 729.  | 827.  | 827.  |
| 2 PROPILENO        | 477.  | 539.  | 606.  | 672.  | 741.  | 741.  |
| 3 ETILENO          | 720.  | 863.  | 1042. | 1263. | 1535. | 1535. |
| 4 ACETALDEHIDO     | 104.  | 117.  | 132.  | 153.  | 179.  | 179.  |
| 5 CLORO            | 437.  | 515.  | 606.  | 715.  | 848.  | 848.  |
| 6 DODECENO         | 126.  | 135.  | 147.  | 160.  | 177.  | 177.  |
| 7 AMONIACO         | 1223. | 1400. | 1558. | 1701. | 1823. | 1823. |
| 8 CUMENO           | 271.  | 302.  | 331.  | 354.  | 373.  | 373.  |
| 9 ANHID CARBONICO  | 1193. | 1408. | 1619. | 1813. | 1949. | 1949. |
| 10 ETILBENCENO     | 145.  | 177.  | 218.  | 260.  | 322.  | 322.  |
| 11 BUTADIENO       | 51.   | 56.   | 60.   | 65.   | 69.   | 69.   |
| 12 VCM             | 150.  | 167.  | 182.  | 194.  | 201.  | 201.  |
| 13 ACRILONITRILLO  | 53.   | 60.   | 67.   | 73.   | 79.   | 79.   |
| 14 DODECIL BENCENO | 75.   | 79.   | 85.   | 93.   | 102.  | 102.  |
| 15 ESTIRENO        | 82.   | 93.   | 105.  | 117.  | 130.  | 130.  |
| 16 METANOL         | 96.   | 111.  | 130.  | 156.  | 190.  | 190.  |
| 17 OXIDO ETILENO   | 77.   | 89.   | 101.  | 112.  | 122.  | 122.  |
| 18 P E B D         | 147.  | 169.  | 198.  | 237.  | 288.  | 288.  |
| 19 P E A D         | 53.   | 58.   | 63.   | 67.   | 68.   | 68.   |
| 20 POLIPROPILENO   | 32.   | 36.   | 39.   | 41.   | 42.   | 42.   |
| 21 DICLOROETANO    | 393.  | 466.  | 554.  | 666.  | 813.  | 813.  |
| 22 METANO          | 1530. | 1694. | 1836. | 1948. | 2015. | 2015. |
| 23 ETANO           | 1271. | 1553. | 1898. | 2309. | 2793. | 2793. |
| 24 BUTANO          | 215.  | 238.  | 260.  | 281.  | 299.  | 299.  |

GRADO DE CAPACIDAD UTILIZADA

| PRODUCTO           | AÑO 1  | AÑO 2  | AÑO 3  | AÑO 4  | AÑO 5  |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 BENCENO          | 0.5784 | 0.6677 | 0.7712 | 0.8810 | 1.0000 |
| 2 PROPILENO        | 0.6436 | 0.7272 | 0.8174 | 0.9078 | 1.0000 |
| 3 ETILENO          | 0.4691 | 0.5619 | 0.6789 | 0.8226 | 1.0000 |
| 4 ACETALDEHIDO     | 0.5827 | 0.6520 | 0.7390 | 0.8523 | 1.0000 |
| 5 CLORO            | 0.5145 | 0.6069 | 0.7141 | 0.8425 | 1.0000 |
| 6 DODECENO         | 0.7131 | 0.7631 | 0.8289 | 0.9035 | 1.0000 |
| 7 AMONIACO         | 0.6711 | 0.7678 | 0.8545 | 0.9332 | 1.0000 |
| 8 CUMENO           | 0.7271 | 0.8095 | 0.8871 | 0.9492 | 1.0000 |
| 9 ANHID CARBONICO  | 0.6122 | 0.7224 | 0.8308 | 0.9305 | 1.0000 |
| 10 ETILBENCENO     | 0.4506 | 0.5496 | 0.6776 | 0.8267 | 1.0000 |
| 11 BUTADIENO       | 0.7376 | 0.8024 | 0.8719 | 0.9367 | 1.0000 |
| 12 VCM             | 0.7439 | 0.8297 | 0.9044 | 0.9647 | 1.0000 |
| 13 ACRILONITRILLO  | 0.6753 | 0.7555 | 0.8435 | 0.9279 | 1.0000 |
| 14 DODECIL BENCENO | 0.7313 | 0.7735 | 0.8339 | 0.9090 | 1.0000 |
| 15 ESTIRENO        | 0.6299 | 0.7147 | 0.8076 | 0.9009 | 1.0000 |
| 16 METANOL         | 0.5045 | 0.5825 | 0.6856 | 0.8197 | 1.0000 |
| 17 OXIDO ETILENO   | 0.6319 | 0.7266 | 0.8242 | 0.9149 | 1.0000 |
| 18 P E B D         | 0.5108 | 0.5882 | 0.6888 | 0.8232 | 1.0000 |
| 19 P E A D         | 0.7733 | 0.8552 | 0.9242 | 0.9736 | 1.0000 |
| 20 POLIPROPILENO   | 0.7583 | 0.8441 | 0.9180 | 0.9716 | 1.0000 |
| 21 DICLOROETANO    | 0.4832 | 0.5724 | 0.6806 | 0.8186 | 1.0000 |
| 22 METANO          | 0.7594 | 0.8407 | 0.9112 | 0.9671 | 1.0000 |
| 23 ETANO           | 0.4550 | 0.5562 | 0.6796 | 0.8266 | 1.0000 |
| 24 BUTANO          | 0.7190 | 0.7967 | 0.8720 | 0.9404 | 1.0000 |

COSTO TOTAL DE LA INVERSION: 4289770700.  
 \*\*\*\*\*

COSTO PRECIO BASADO EN LOS VALORES AGREGADOS, EN DOLARES POR TONELADA  
 \*\*\*\*\*  
 PRODUCTO A&O 1 A&O 2 A&O 3 A&O 4 A&O K

| PRODUCTO           | A&O 1    | A&O 2    | A&O 3    | A&O 4    | A&O K    |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 BENCENO          | 145.852  | 129.5358 | 115.4269 | 104.0730 | 94.5842  |
| 2 PROPILENO        | 272.496  | 251.0408 | 232.9519 | 218.4299 | 206.3291 |
| 3 ETILENO          | 315.4258 | 274.4884 | 239.0275 | 209.3488 | 184.5674 |
| 4 ACETALDEHIDO     | 278.7227 | 246.1038 | 217.0400 | 191.6762 | 169.6665 |
| 5 CLORO            | 155.5023 | 141.9017 | 130.5442 | 120.7343 | 112.1462 |
| 6 DODECENO         | 299.8358 | 276.8789 | 256.9245 | 240.6103 | 226.6000 |
| 7 AMONIACO         | 41.5938  | 39.6296  | 38.2467  | 37.2146  | 36.4651  |
| 8 CUMENO           | 311.6032 | 282.2182 | 257.7238 | 238.8656 | 223.6327 |
| 9 ANHID CARBONICO  | 55.5511  | 48.9307  | 44.1347  | 40.7240  | 38.7652  |
| 10 ETILBENCENO     | 234.9629 | 208.2102 | 185.0336 | 160.1545 | 150.4886 |
| 11 BUTADIENO       | 297.4030 | 281.4746 | 268.3931 | 258.2328 | 250.2974 |
| 12 VCM             | 526.6691 | 481.3125 | 442.6239 | 409.4068 | 380.7593 |
| 13 ACRILONITRILO   | 548.3090 | 515.4920 | 487.2711 | 464.9407 | 447.5439 |
| 14 DODECIL BENCENO | 436.8506 | 407.3340 | 380.3334 | 357.2864 | 336.8811 |
| 15 ESTIRENO        | 339.2370 | 301.2523 | 268.4690 | 241.9270 | 219.6998 |
| 16 METANOL         | 355.9949 | 334.7711 | 314.3934 | 295.7427 | 278.7622 |
| 17 OXIDO ETILENO   | 480.1339 | 426.7686 | 382.6501 | 347.8545 | 319.7713 |
| 18 P E B D         | 641.6772 | 565.7855 | 496.4328 | 434.1833 | 379.7832 |
| 19 P E A D         | 656.1078 | 598.5976 | 551.7765 | 515.3158 | 487.6942 |
| 20 POLIPROPILENO   | 645.7782 | 593.5389 | 553.6047 | 525.4667 | 506.9977 |
| 21 DICLOROETANO    | 296.7342 | 268.3040 | 244.0215 | 223.1459 | 205.1034 |
| 22 METANO          | 36.9908  | 34.7676  | 33.1605  | 32.0537  | 31.4590  |
| 23 ETANO           | 32.3073  | 29.3380  | 26.9169  | 24.9755  | 23.4190  |
| 24 BUTANO          | 188.3890 | 176.6459 | 167.2646 | 160.0424 | 154.5608 |

VALOR PRESENTE DE LA DEMANDA DE IMPORTACION A SATISFACER DURANTE UN PERIODO DE CINCO A&OS, FACTOR DE DESCUENTO 0.08

.43E+10

2. ITERACION  
\*\*\*\*\*

DESARROLLO DE LA DEMANDA EN MILES DE TONELADAS POR A&O

MAXIMA DEMANDA DEL PRODUCTO  
CON RESPECTO AL TIEMPO

| PRODUCTO NO.       | A&O 1 | A&O 2 | A&O 3 | A&O 4 | A&O 5 |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 BENCENO          | 138.  | 168.  | 204.  | 244.  | 289.  | 289.  |
| 2 PROPILENO        | 170.  | 210.  | 255.  | 303.  | 354.  | 354.  |
| 3 ETILENO          | 264.  | 350.  | 461.  | 600.  | 774.  | 774.  |
| 4 ACETALDEHIDO     | 104.  | 119.  | 139.  | 166.  | 201.  | 201.  |
| 5 CLORO            | 155.  | 185.  | 217.  | 249.  | 281.  | 281.  |
| 6 DODECENO         | 62.   | 69.   | 77.   | 87.   | 98.   | 98.   |
| 7 AMONIACO         | 1206. | 1370. | 1525. | 1666. | 1784. | 1784. |
| 8 CUMENO           | 271.  | 304.  | 333.  | 358.  | 377.  | 377.  |
| 9 ANHID CARBONICO  | 1193. | 1433. | 1667. | 1882. | 2058. | 2058. |
| 10 ETILBENCENO     | 62.   | 88.   | 122.  | 165.  | 217.  | 217.  |
| 11 BUTADIENO       | 51.   | 56.   | 62.   | 67.   | 72.   | 72.   |
| 12 VCM             | 150.  | 171.  | 189.  | 203.  | 212.  | 212.  |
| 13 ACRILONITRILO   | 53.   | 61.   | 69.   | 76.   | 82.   | 82.   |
| 14 DODECIL BENCENO | 75.   | 81.   | 89.   | 98.   | 110.  | 110.  |
| 15 ESTIRENO        | 82.   | 94.   | 108.  | 122.  | 137.  | 137.  |
| 16 METANOL         | 96.   | 112.  | 133.  | 161.  | 199.  | 199.  |
| 17 OXIDO ETILENO   | 77.   | 90.   | 103.  | 115.  | 126.  | 126.  |
| 18 P E B D         | 147.  | 173.  | 208.  | 255.  | 318.  | 318.  |
| 19 P E A D         | 53.   | 60.   | 66.   | 70.   | 72.   | 72.   |
| 20 POLIPROPILENO   | 32.   | 36.   | 40.   | 42.   | 44.   | 44.   |
| 21 DICLOROETANO    | 156.  | 206.  | 277.  | 382.  | 538.  | 538.  |
| 22 METANO          | 1048. | 1148. | 1220. | 1257. | 1257. | 1257. |
| 23 ETANO           | 499.  | 640.  | 819.  | 1020. | 1247. | 1247. |
| 24 BUTANO          | 160.  | 182.  | 203.  | 222.  | 238.  | 238.  |

VOLUMEN DE PRODUCCION EN MILES DE TON/A&O  
 \*\*\*\*\*

PRODUCCION NECESARIA PARA SATISFACER  
 LA DEMANDA EN MILES DE TON/A&O

| PRODUCTO           | A&O 1 | A&O 2 | A&O 3 | A&O 4 | A&O 5 |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 BENCENO          | 478.  | 565.  | 662.  | 767.  | 882.  | 882.  |
| 2 PROPILENO        | 477.  | 552.  | 633.  | 717.  | 803.  | 803.  |
| 3 ETILENO          | 720.  | 890.  | 1101. | 1365. | 1696. | 1696. |
| 4 ACETALDEHIDO     | 104.  | 119.  | 139.  | 166.  | 201.  | 201.  |
| 5 CLORO            | 437.  | 526.  | 630.  | 753.  | 906.  | 906.  |
| 6 DODECENO         | 126.  | 138.  | 153.  | 171.  | 192.  | 192.  |
| 7 AMONIACO         | 1223. | 1389. | 1547. | 1690. | 1811. | 1811. |
| 8 CUMENO           | 271.  | 304.  | 333.  | 358.  | 377.  | 377.  |
| 9 ANHID CARBONICO  | 1193. | 1433. | 1667. | 1882. | 2058. | 2058. |
| 10 ETILBENCENO     | 145.  | 184.  | 232.  | 290.  | 357.  | 357.  |
| 11 BUTADIENO       | 51.   | 56.   | 62.   | 67.   | 72.   | 72.   |
| 12 VCM             | 150.  | 171.  | 189.  | 203.  | 212.  | 212.  |
| 13 ACRILONITRILLO  | 53.   | 61.   | 69.   | 76.   | 82.   | 82.   |
| 14 DODECIL BENCENO | 75.   | 81.   | 89.   | 98.   | 110.  | 110.  |
| 15 ESTIRENO        | 82.   | 94.   | 108.  | 122.  | 137.  | 137.  |
| 16 METANOL         | 96.   | 112.  | 133.  | 161.  | 199.  | 199.  |
| 17 OXIDO ETILENO   | 77.   | 90.   | 103.  | 115.  | 126.  | 126.  |
| 18 P E B D         | 147.  | 173.  | 208.  | 255.  | 318.  | 318.  |
| 19 P E A D         | 53.   | 60.   | 66.   | 70.   | 72.   | 72.   |
| 20 POLIPROPILENO   | 32.   | 36.   | 40.   | 42.   | 44.   | 44.   |
| 21 DICLOROETANO    | 393.  | 476.  | 576.  | 703.  | 873.  | 873.  |
| 22 METANO          | 1530. | 1725. | 1892. | 2022. | 2105. | 2105. |
| 23 ETANO           | 1271. | 1598. | 1999. | 2482. | 3063. | 3063. |
| 24 BUTANO          | 215.  | 242.  | 269.  | 293.  | 315.  | 315.  |



GRADO DE CAPACIDAD UTILIZADA

| PRODUCTO           | AÑO 1  | AÑO 2  | AÑO 3  | AÑO 4  | AÑO 5  |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 BENCENO          | 0.5426 | 0.6409 | 0.7505 | 0.8703 | 1.0000 |
| 2 PROPILENO        | 0.6937 | 0.6874 | 0.7878 | 0.8926 | 1.0000 |
| 3 ETILENO          | 0.5246 | 0.5245 | 0.6492 | 0.8047 | 1.0000 |
| 4 ACETALDEHIDO     | 0.5199 | 0.5950 | 0.6945 | 0.8258 | 1.0000 |
| 5 CLORO            | 0.4816 | 0.5801 | 0.6946 | 0.8308 | 1.0000 |
| 6 DODECENO         | 0.6560 | 0.7189 | 0.7953 | 0.8878 | 1.0000 |
| 7 AMONIACO         | 0.6757 | 0.7674 | 0.8545 | 0.9334 | 1.0000 |
| 8 CUMENO           | 0.7193 | 0.8054 | 0.8837 | 0.9498 | 1.0000 |
| 9 ANHID CARBONICO  | 0.5797 | 0.6960 | 0.8101 | 0.9142 | 1.0000 |
| 10 ETILBENCENO     | 0.4073 | 0.5168 | 0.6512 | 0.8121 | 1.0000 |
| 11 BUTADIENO       | 0.7131 | 0.7878 | 0.8617 | 0.9329 | 1.0000 |
| 12 VCM             | 0.7066 | 0.8058 | 0.8924 | 0.9592 | 1.0000 |
| 13 ACRILONITRILO   | 0.6475 | 0.7430 | 0.8366 | 0.9237 | 1.0000 |
| 14 DODECIL BENCENO | 0.6822 | 0.7402 | 0.8108 | 0.8903 | 1.0000 |
| 15 ESTIRENO        | 0.5979 | 0.6906 | 0.7897 | 0.8933 | 1.0000 |
| 16 METANOL         | 0.4824 | 0.5637 | 0.6707 | 0.8121 | 1.0000 |
| 17 OXIDO ETILENO   | 0.6114 | 0.7128 | 0.8146 | 0.9118 | 1.0000 |
| 18 P E B D         | 0.4628 | 0.5453 | 0.6551 | 0.8021 | 1.0000 |
| 19 P E A D         | 0.7358 | 0.8313 | 0.9115 | 0.9695 | 1.0000 |
| 20 POLIPROPILENO   | 0.7380 | 0.8332 | 0.9127 | 0.9700 | 1.0000 |
| 21 DICLOROETANO    | 0.4504 | 0.5451 | 0.6601 | 0.8057 | 1.0000 |
| 22 METANO          | 0.7269 | 0.8194 | 0.8990 | 0.9606 | 1.0000 |
| 23 ETANO           | 0.4148 | 0.5218 | 0.6525 | 0.8103 | 1.0000 |
| 24 BUTANO          | 0.6824 | 0.7705 | 0.8551 | 0.9328 | 1.0000 |

COSTO TOTAL DE LA INVERSION: 4847668900.

\*\*\*\*\*

COSTO PRECIO BASADO EN LOS VALORES AGREGADOS, EN DOLARES POR TONELADA  
 \*\*\*\*\*  
 PRODUCTO A&U 1 A&O 2 A&U 3 A&O 4 A&O K

| PRODUCTO           | A&U 1    | A&O 2    | A&U 3    | A&O 4    | A&O K    |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 BENCENO          | 158.8661 | 138.2308 | 121.6024 | 108.2057 | 97.3311  |
| 2 PROPILENO        | 299.5908 | 270.6228 | 247.2401 | 228.4370 | 213.2580 |
| 3 ETILENO          | 364.0812 | 307.6576 | 261.7845 | 224.5782 | 194.3360 |
| 4 ACETALDEHIDO     | 322.9207 | 277.5350 | 238.9603 | 206.3514 | 178.8786 |
| 5 CLORO            | 164.4974 | 147.7929 | 134.3507 | 123.1755 | 113.5352 |
| 6 DODECENO         | 330.6176 | 299.1410 | 273.2429 | 251.9753 | 234.4173 |
| 7 AMONIACO         | 41.4263  | 39.5837  | 38.1985  | 37.1678  | 36.4237  |
| 8 CUMENO           | 333.7805 | 297.4776 | 268.8302 | 246.4057 | 228.9364 |
| 9 ANHID CARBONICO  | 59.7163  | 51.7451  | 46.1585  | 42.3005  | 39.7686  |
| 10 ETILBENCENO     | 261.3334 | 225.7812 | 197.1935 | 174.2484 | 155.7461 |
| 11 BUTADIENO       | 311.8024 | 291.5306 | 275.7708 | 263.6380 | 254.4619 |
| 12 VCM             | 568.1435 | 509.3479 | 461.5411 | 421.9842 | 388.5752 |
| 13 ACRILONITRILO   | 579.8852 | 536.5098 | 502.5104 | 476.0294 | 455.5114 |
| 14 DODECIL BENCENO | 475.8289 | 435.1932 | 400.7626 | 371.5659 | 346.6334 |
| 15 ESTIRENO        | 373.9669 | 324.5527 | 284.7465 | 252.7373 | 226.8652 |
| 16 METANOL         | 368.1483 | 343.4401 | 320.4039 | 299.5441 | 281.1467 |
| 17 OXIDO ETILENO   | 523.7470 | 456.2367 | 403.2554 | 361.8084 | 329.4331 |
| 18 P E B D         | 737.6484 | 633.9757 | 543.3099 | 465.1143 | 398.5831 |
| 19 P E A D         | 718.9718 | 641.1058 | 581.0764 | 535.5350 | 501.9184 |
| 20 POLIPROPILENO   | 686.5032 | 621.3416 | 573.6816 | 540.0934 | 518.1527 |
| 21 DICLOROETANO    | 322.7250 | 285.8736 | 255.8724 | 231.0107 | 209.9722 |
| 22 METANO          | 38.8724  | 36.0657  | 34.1104  | 32.8213  | 32.0802  |
| 23 ETANO           | 35.0808  | 31.1670  | 28.1305  | 25.7676  | 23.9147  |
| 24 BUTANO          | 199.5626 | 184.5266 | 172.9916 | 164.2521 | 157.7827 |

3. ITERACION  
\*\*\*\*\*

DESARROLLO DE LA DEMANDA EN MILES DE TONELADAS POR A&O

MAXIMA DEMANDA DEL PRODUCTO  
CON RESPECTO AL TIEMPO

| PRODUCTO NO.       | A&O 1 | A&O 2 | A&O 3 | A&O 4 | A&O 5 |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 BENCENO          | 138.  | 169.  | 205.  | 240.  | 291.  | 291.  |
| 2 PROPILENO        | 170.  | 211.  | 256.  | 306.  | 357.  | 357.  |
| 3 ETILENO          | 264.  | 352.  | 466.  | 609.  | 789.  | 789.  |
| 4 ACETALDEHIDO     | 104.  | 120.  | 140.  | 167.  | 203.  | 203.  |
| 5 CLORO            | 155.  | 185.  | 218.  | 250.  | 283.  | 283.  |
| 6 DODECENO         | 62.   | 69.   | 77.   | 87.   | 99.   | 99.   |
| 7 AMONIACO         | 1206. | 1369. | 1525. | 1665. | 1784. | 1784. |
| 8 CUMENO           | 271.  | 304.  | 334.  | 359.  | 378.  | 378.  |
| 9 ANHID CARBONICO  | 1193. | 1436. | 1673. | 1890. | 2069. | 2069. |
| 10 ETILBENCENO     | 62.   | 89.   | 124.  | 168.  | 221.  | 221.  |
| 11 BUTADIENO       | 51.   | 56.   | 62.   | 67.   | 72.   | 72.   |
| 12 VCM             | 150.  | 171.  | 190.  | 204.  | 213.  | 213.  |
| 13 ACRILONITRILO   | 53.   | 61.   | 69.   | 76.   | 83.   | 83.   |
| 14 DODECIL BENCENO | 75.   | 81.   | 89.   | 99.   | 110.  | 110.  |
| 15 ESTIRENO        | 82.   | 95.   | 108.  | 123.  | 138.  | 138.  |
| 16 METANOL         | 96.   | 112.  | 133.  | 162.  | 199.  | 199.  |
| 17 OXIDO ETILENO   | 77.   | 90.   | 103.  | 116.  | 127.  | 127.  |
| 18 P E B D         | 147.  | 174.  | 210.  | 258.  | 322.  | 322.  |
| 19 P E A D         | 53.   | 60.   | 66.   | 70.   | 72.   | 72.   |
| 20 POLIPROPILENO   | 32.   | 36.   | 40.   | 42.   | 44.   | 44.   |
| 21 DICLOROETANO    | 156.  | 207.  | 279.  | 386.  | 545.  | 545.  |
| 22 METANO          | 1048. | 1149. | 1221. | 1259. | 1259. | 1259. |
| 23 ETANO           | 499.  | 648.  | 825.  | 1030. | 1261. | 1261. |
| 24 BUTANO          | 160.  | 182.  | 203.  | 222.  | 238.  | 238.  |

VOLUMEN DE PRODUCCION EN MILES DE TON/A&O  
 \*\*\*\*\*

PRODUCCION NECESARIA PARA SATISFACER  
 LA DEMANDA EN MILES DE TON/A&O

| PRODUCTO           | A&O 1 | A&O 2 | A&O 3 | A&O 4 | A&O 5 |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 BENCENO          | 478.  | 567.  | 665.  | 772.  | 889.  | 889.  |
| 2 PROPILENO        | 477.  | 553.  | 635.  | 721.  | 808.  | 808.  |
| 3 ETILENO          | 720.  | 894.  | 1110. | 1381. | 1721. | 1721. |
| 4 ACETALDEHIDO     | 104.  | 120.  | 140.  | 167.  | 203.  | 203.  |
| 5 CLORO            | 437.  | 527.  | 633.  | 758.  | 914.  | 914.  |
| 6 DODECENO         | 126.  | 138.  | 153.  | 171.  | 193.  | 193.  |
| 7 AMONIACO         | 1223. | 1389. | 1547. | 1690. | 1810. | 1810. |
| 8 CUMENO           | 271.  | 304.  | 334.  | 359.  | 378.  | 378.  |
| 9 ANHID CARBONICO  | 1193. | 1436. | 1673. | 1890. | 2069. | 2069. |
| 10 ETILBENCENO     | 145.  | 185.  | 234.  | 293.  | 361.  | 361.  |
| 11 BUTADIENO       | 51.   | 56.   | 62.   | 67.   | 72.   | 72.   |
| 12 VCM             | 150.  | 171.  | 190.  | 204.  | 213.  | 213.  |
| 13 ACRILONITRILLO  | 53.   | 61.   | 69.   | 76.   | 83.   | 83.   |
| 14 DODECIL BENCENO | 75.   | 81.   | 89.   | 99.   | 110.  | 110.  |
| 15 ESTIRENO        | 82.   | 95.   | 108.  | 123.  | 138.  | 138.  |
| 16 METANOL         | 96.   | 112.  | 133.  | 162.  | 199.  | 199.  |
| 17 OXIDO ETILENO   | 77.   | 90.   | 103.  | 116.  | 127.  | 127.  |
| 18 P E R D         | 147.  | 174.  | 210.  | 258.  | 322.  | 322.  |
| 19 P E A D         | 53.   | 60.   | 66.   | 70.   | 72.   | 72.   |
| 20 POLIPROPILENO   | 32.   | 36.   | 40.   | 42.   | 44.   | 44.   |
| 21 DICLOROETANO    | 393.  | 477.  | 579.  | 709.  | 882.  | 882.  |
| 22 METANO          | 1530. | 1727. | 1896. | 2027. | 2111. | 2111. |
| 23 ETANO           | 1271. | 1605. | 2014. | 2509. | 3104. | 3104. |
| 24 BUTANO          | 215.  | 243.  | 270.  | 294.  | 316.  | 316.  |

GRADO DE CAPACIDAD UTILIZADA

| PRODUCTO           | AÑO 1  | AÑO 2  | AÑO 3  | AÑO 4  | AÑO 5  |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 BENCENO          | 0.5382 | 0.6375 | 0.7479 | 0.8690 | 1.0000 |
| 2 PROPILENO        | 0.5899 | 0.6846 | 0.7858 | 0.8916 | 1.0000 |
| 3 ETILENO          | 0.4184 | 0.5191 | 0.6449 | 0.8021 | 1.0000 |
| 4 ACETALDEHIDO     | 0.5135 | 0.5895 | 0.6901 | 0.8232 | 1.0000 |
| 5 CLORO            | 0.4774 | 0.5767 | 0.6919 | 0.8292 | 1.0000 |
| 6 DODECENO         | 0.6526 | 0.7163 | 0.7934 | 0.8868 | 1.0000 |
| 7 AMONIACO         | 0.6759 | 0.7673 | 0.8545 | 0.9334 | 1.0000 |
| 8 CUMENO           | 0.7169 | 0.8040 | 0.8829 | 0.9494 | 1.0000 |
| 9 ANHID CARBONICO  | 0.5766 | 0.6940 | 0.8088 | 0.9133 | 1.0000 |
| 10 ETILBENCENO     | 0.4020 | 0.5123 | 0.6477 | 0.8101 | 1.0000 |
| 11 BUTADIENO       | 0.7115 | 0.7869 | 0.8611 | 0.9327 | 1.0000 |
| 12 VCM             | 0.7036 | 0.8040 | 0.8915 | 0.9588 | 1.0000 |
| 13 ACRILONITRILO   | 0.6451 | 0.7417 | 0.8358 | 0.9233 | 1.0000 |
| 14 DODECIL BENCENO | 0.6792 | 0.7379 | 0.8092 | 0.8955 | 1.0000 |
| 15 ESTIRENO        | 0.5937 | 0.6876 | 0.7876 | 0.8923 | 1.0000 |
| 16 METANOL         | 0.4807 | 0.5623 | 0.6697 | 0.8115 | 1.0000 |
| 17 OXIDO ETILENO   | 0.6077 | 0.7103 | 0.8130 | 0.9111 | 1.0000 |
| 18 P E B D         | 0.4564 | 0.5396 | 0.6505 | 0.7992 | 1.0000 |
| 19 P E A D         | 0.7325 | 0.8295 | 0.9107 | 0.9693 | 1.0000 |
| 20 POLIPROPILENO   | 0.7359 | 0.8321 | 0.9122 | 0.9699 | 1.0000 |
| 21 DICLOROETANO    | 0.4459 | 0.5412 | 0.6571 | 0.8038 | 1.0000 |
| 22 METANO          | 0.7248 | 0.8181 | 0.8983 | 0.9602 | 1.0000 |
| 23 ETANO           | 0.4093 | 0.5172 | 0.6489 | 0.8082 | 1.0000 |
| 24 BUTANO          | 0.6804 | 0.7692 | 0.8544 | 0.9325 | 1.0000 |

COSTO TOTAL DE LA INVERSION: 4923063516.

\*\*\*\*\*

COSTO PRECIO BASADO EN LOS VALORES AGREGADOS, EN DOLARES POR TONELADA  
 \*\*\*\*\*  
 PRODUCTO A&O 1 A&O 2 A&O 3 A&O 4 A&O K

| PRODUCTO           | A&O 1    | A&O 2    | A&O 3    | A&O 4    | A&O K    |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 BENCENO          | 160.6225 | 139.3974 | 122.4135 | 108.7459 | 97.6871  |
| 2 PROPILENO        | 301.8998 | 272.2037 | 248.3637 | 229.2236 | 213.8206 |
| 3 ETILENO          | 372.0669 | 313.0415 | 265.4094 | 226.9645 | 195.8527 |
| 4 ACETALDEHIDO     | 329.5857 | 282.1446 | 242.1098 | 208.4294 | 180.1805 |
| 5 CLORO            | 165.7409 | 148.5998 | 134.8768 | 123.5089 | 113.7203 |
| 6 DODECENO         | 333.1017 | 300.8967 | 274.4950 | 252.8494 | 235.0365 |
| 7 AMONIACO         | 41.4206  | 39.5823  | 38.1969  | 37.1663  | 36.4223  |
| 8 CUMENO           | 336.5132 | 299.3098 | 270.1291 | 247.3073 | 229.5819 |
| 9 ANHID CARBONICO  | 60.1209  | 51.9902  | 46.3247  | 42.4285  | 39.8614  |
| 10 ETILBENCENO     | 265.2982 | 228.4149 | 198.9764 | 175.4200 | 156.4986 |
| 11 BUTADIENO       | 312.6841 | 292.1067 | 276.1779 | 263.9428 | 254.7106 |
| 12 VCM             | 574.5687 | 513.6516 | 464.4271 | 423.8728 | 389.7337 |
| 13 ACRILONITRILLO  | 582.6126 | 538.3055 | 503.7773 | 476.9302 | 456.1748 |
| 14 DODECIL BENCENO | 479.1993 | 437.5307 | 402.4338 | 372.7211 | 347.4313 |
| 15 ESTIRENO        | 379.1137 | 327.9633 | 287.0709 | 254.2789 | 227.8793 |
| 16 METANOL         | 369.1253 | 344.1247 | 320.8684 | 299.8389 | 281.3326 |
| 17 OXIDO ETILENO   | 531.2128 | 461.2262 | 406.6693 | 364.1343 | 331.0350 |
| 18 P E B D         | 752.8675 | 644.5967 | 550.5148 | 469.7886 | 401.4058 |
| 19 P E A D         | 728.1377 | 647.1880 | 585.1821 | 538.3141 | 503.8160 |
| 20 POLIPROPILENO   | 690.2952 | 623.8133 | 575.4302 | 541.3774 | 519.1722 |
| 21 DICLOROETANO    | 326.7661 | 288.5808 | 257.6873 | 232.1972 | 210.6982 |
| 22 METANO          | 39.0055  | 36.1528  | 34.1744  | 32.8739  | 32.1232  |
| 23 ETANO           | 35.5169  | 31.4461  | 28.3116  | 25.8845  | 23.9807  |
| 24 BUTANO          | 200.2306 | 184.9612 | 173.2973 | 164.4811 | 157.9702 |

A N E X O III

Diagrama de Flujo

START

D = 1

N = 24

KCOUNT = 1

RATE = 0.14

BEDEEM (J)

GRATE (J)

Z (J)

CINV (J)

EKO (J)

DEGCOF (J)

MATPRI (J, K)

ANOM (J, K)

DO 15 J = 1, N

DEMAX = 0.

DO 440 K = 1, 5

GROWTH (J, K) = GRATE (J) - (Z(J) \* (K - 1))

K : 1

LEM = 0.

S = BEDEEM (J) (1. +  
GROWTH (J, K))

DEMAND (J, K) = S

P = MATPRI (J, K) - MATPRI (J, (K - 1))

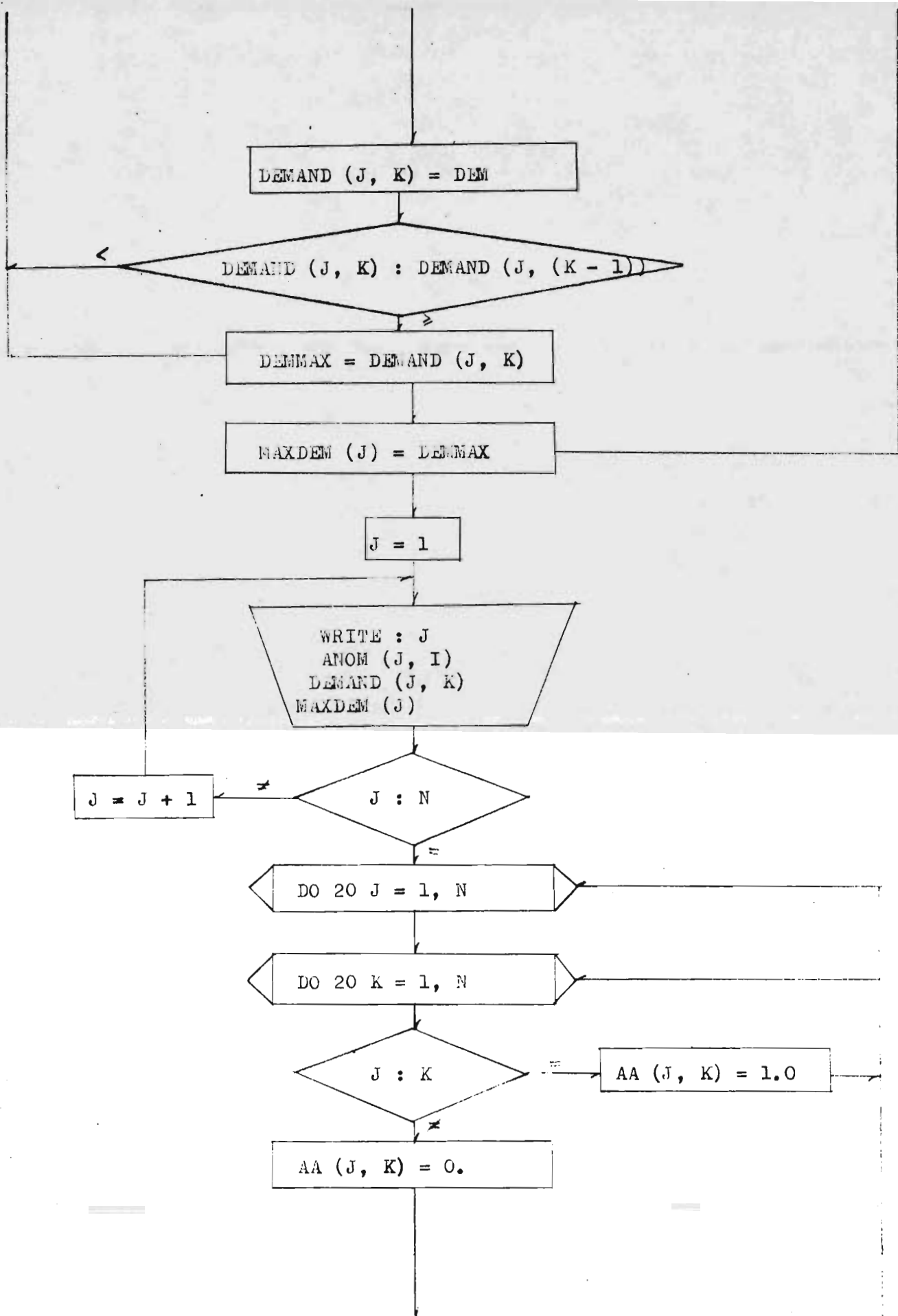
CHAPRI = P/MATPRI (J, K)

DEMAND (J, (K - 1)) \* (1 + (GROWTH (J, K) \* (1 - (.85  
CHAPRI))))

2

\*





AA (J, K) = VALORES FIJOS  
:  
:

J = 1

DO 22 JS = 1, N

DO 22 KS = 1, N

A (J) = AA (JS, KS)

J = J + 1

CALL MINV (A, N, D, L, M)

J = 1

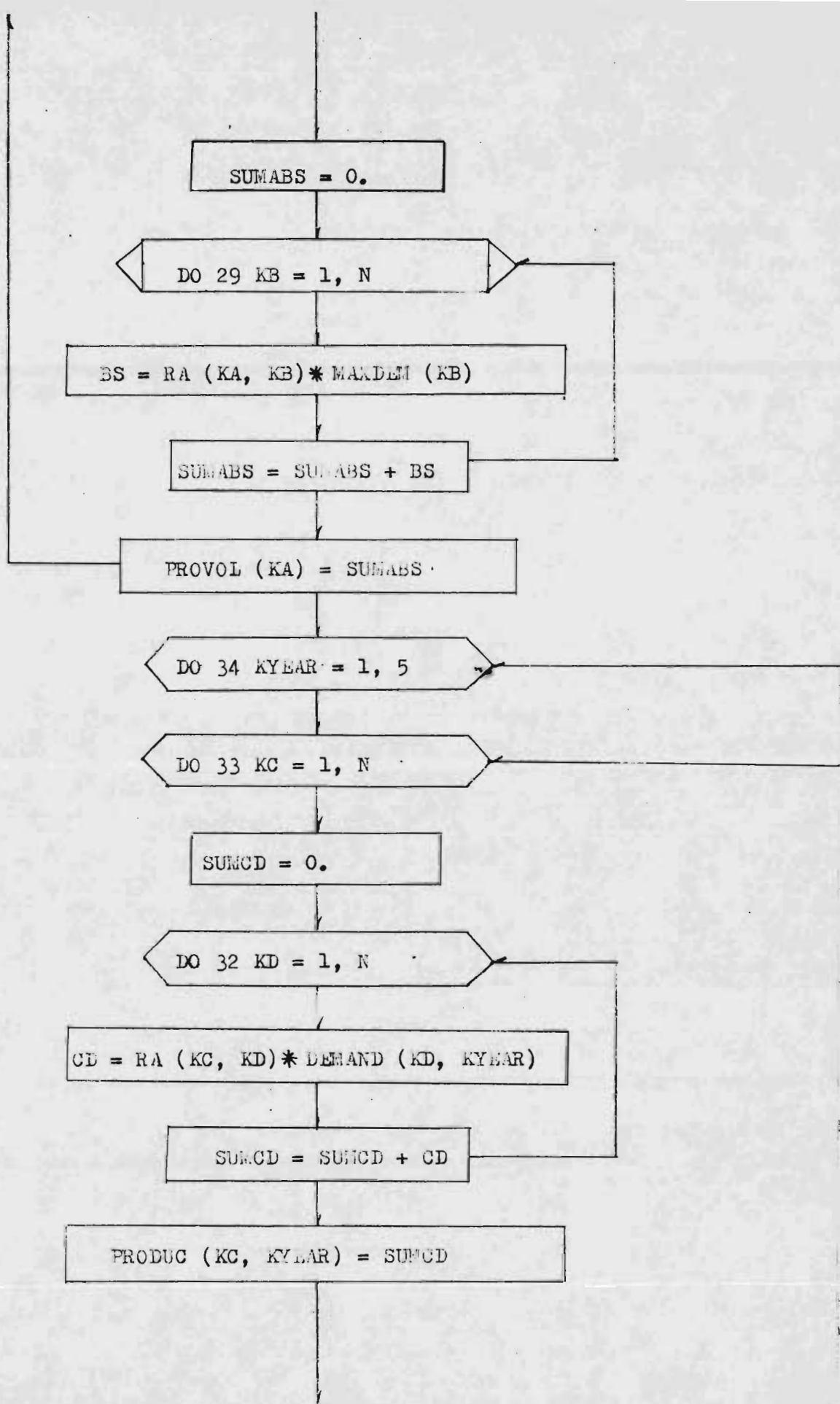
DO 26 KS = 1, N

DO 26 K = 1, N

RA (KS, K) = A (J)

J = J + 1

DO 30 KA = 1, N



DEGREX (KC, KYEAR) = PRODUC (KC, KYEAR) / PROVOL (KC)

J = 1

WRITE : J  
ANOM (J, I)  
PRODUC (J, K)  
PROVOL (J)

J = J + 1

J : N

J = 1

WRITE : J  
ANOM (J, I)  
DEGREX (J, K)

J = J + 1

J : N

DO 300 J = 1, N

FIX (J) = 0.015

SUMINV = 0.

DO 39 J = 1, N

REL CAP (J) = (PROVOL (J) / BEGDEM (J)) \* DEGCOF (J)

COSINV (J) = RELCAP (J) \* CINV (J) \* PROVOL (J) \* 1000

SUMINV = SUMINV + COSINV (J)

DO 41 J = 1, N

DO 41 K = 1, 5

FXOCOS (J, K) = PRODUC (J, K) \* EXO (J) \* 1000.

DO 45 J = 1, N

CAPCOS (J) = RATE \* COSINV (J)

DO 700 K = 1, 5

RESCOS = 0.

DO 701 J = 1, N

RESCOS = RESCOS + FXOCOS (J, K) + FICCOS (J)

RESOUR (K) = RESCOS\*(1.08)\*\*(-K)

DISRES = 0.

DO 702 K = 1, 5

DISRES = DISRES + RESOUR (K)

WRITE : SUMINV

DO 46 J = 1, N

DO 46 K = 1, 5

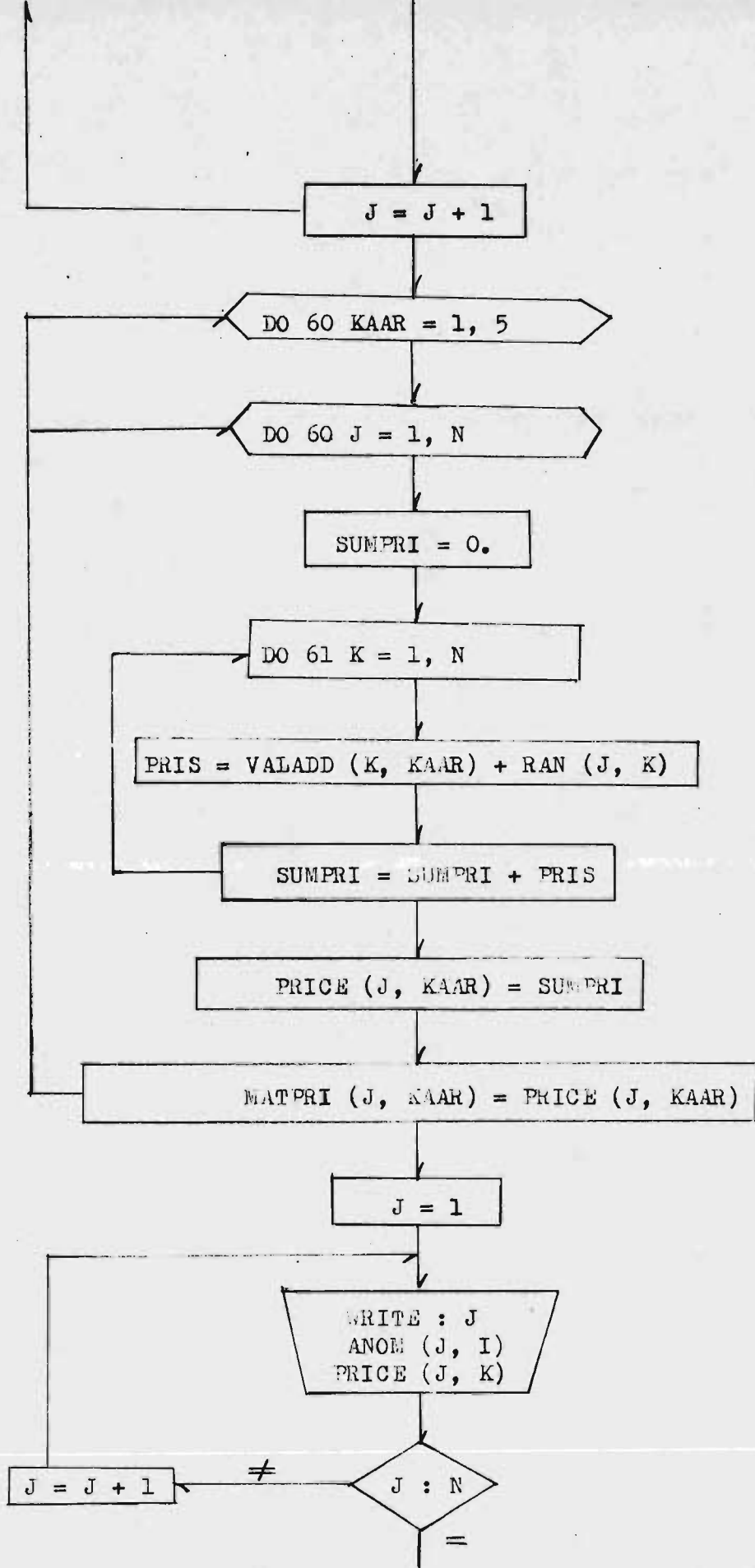
VALADD (J, K) = (FIXCOS (J) + CAPCOS (J)) / PRODUC (J, K) \*  
1000.) + EXO (J)

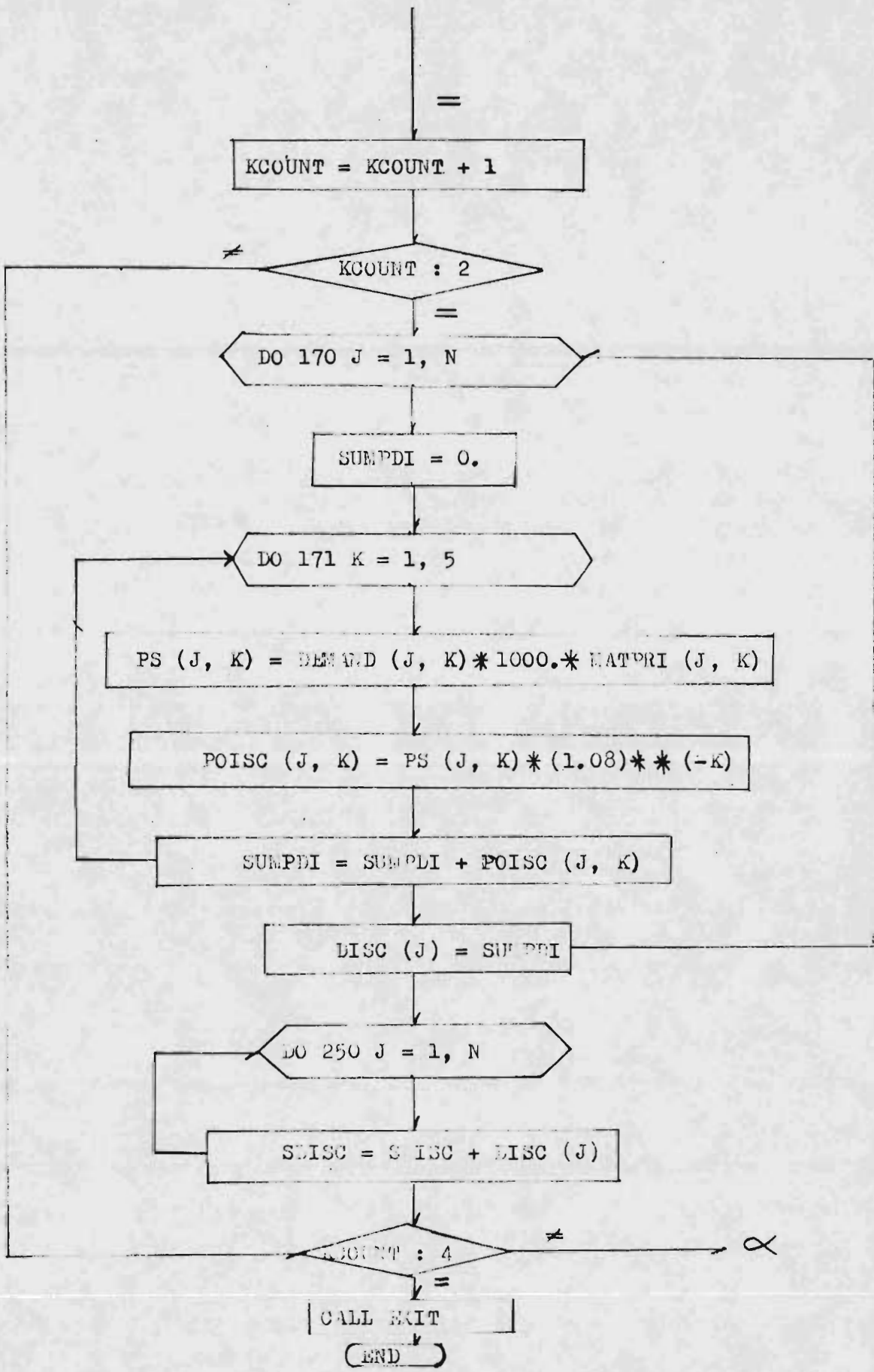
J = 1

DO 55 K = 1, N

DO 55 KS = 1, N

RAN (KS, K) = A (J)



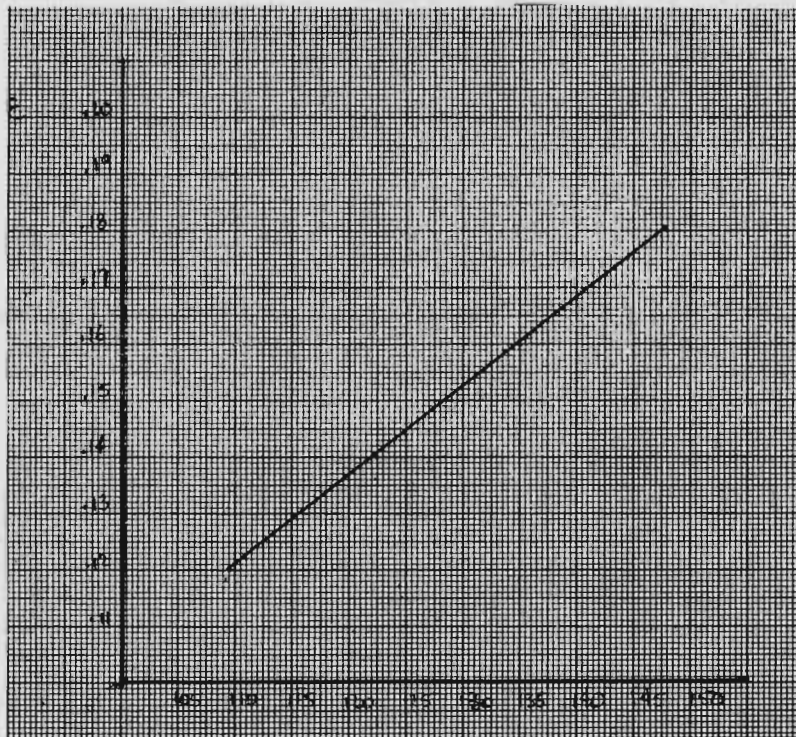




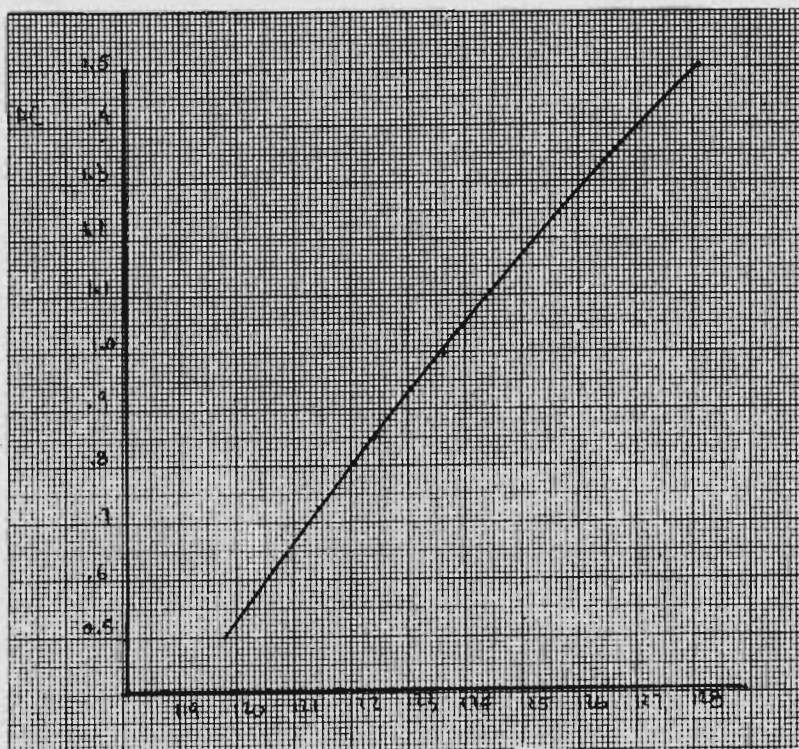
A N E X O IV

Análisis de Sensibilidad

BENCENO.

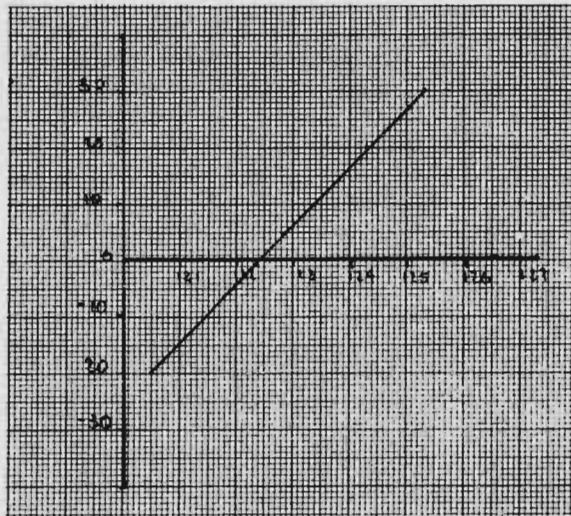


Tasa de interés vs. precio al costo.

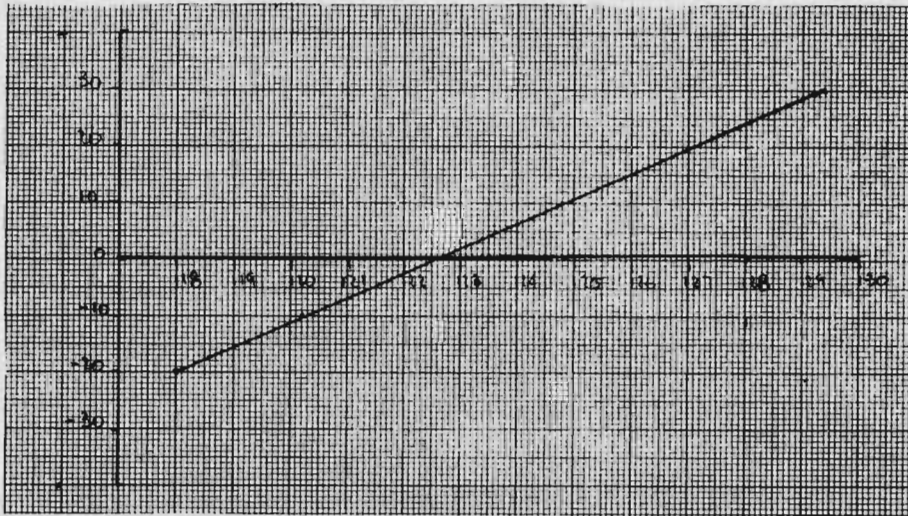


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

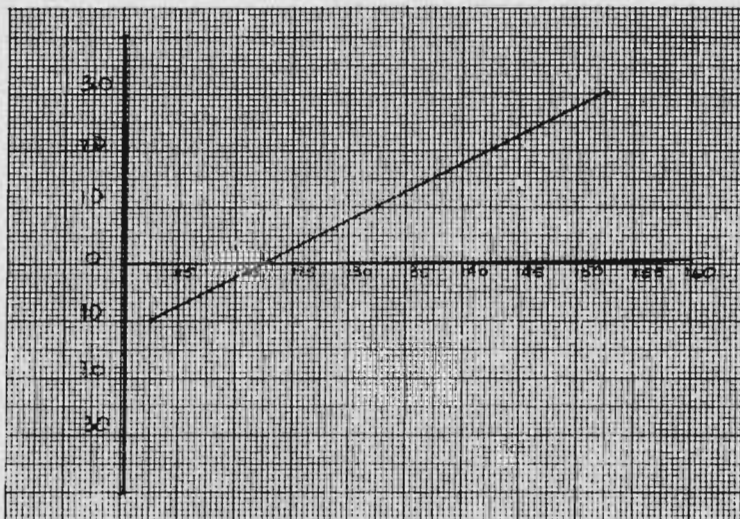
BENCENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

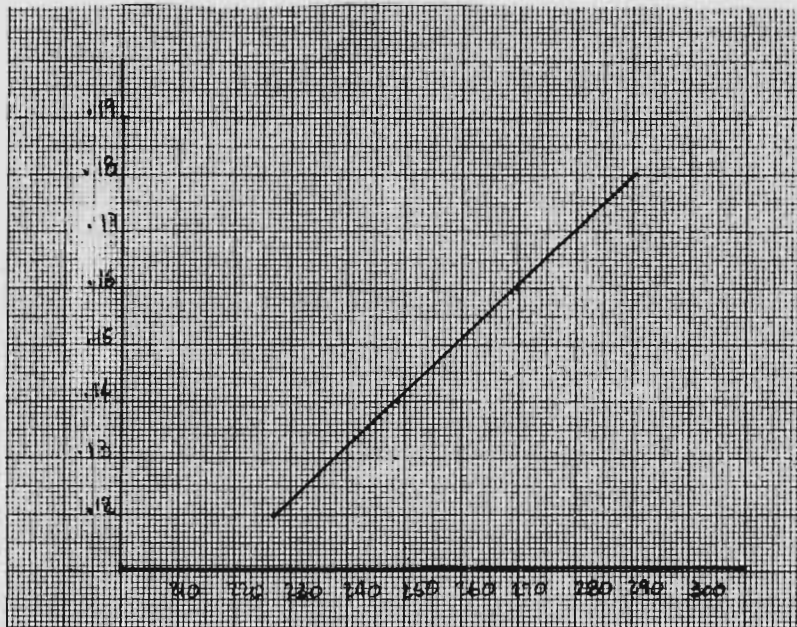


% de costos variables vs. precio al costo.

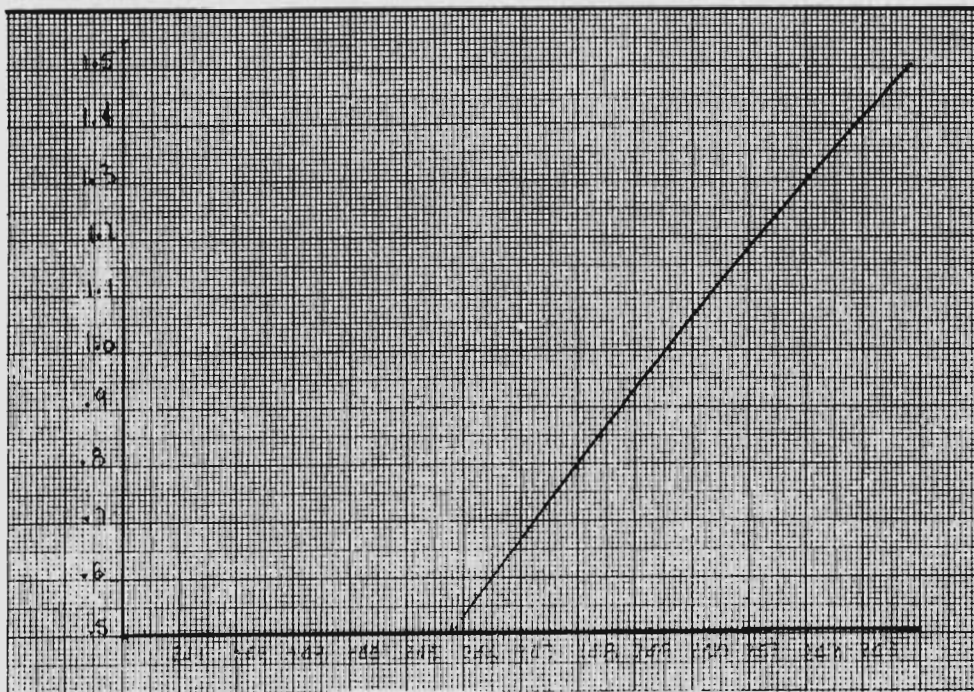


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

PROPILENO.

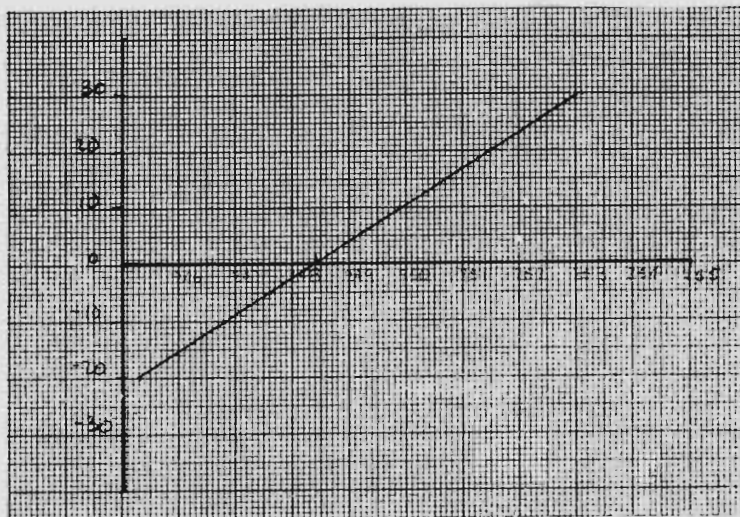


Tasa de interés vs. precio al costo.

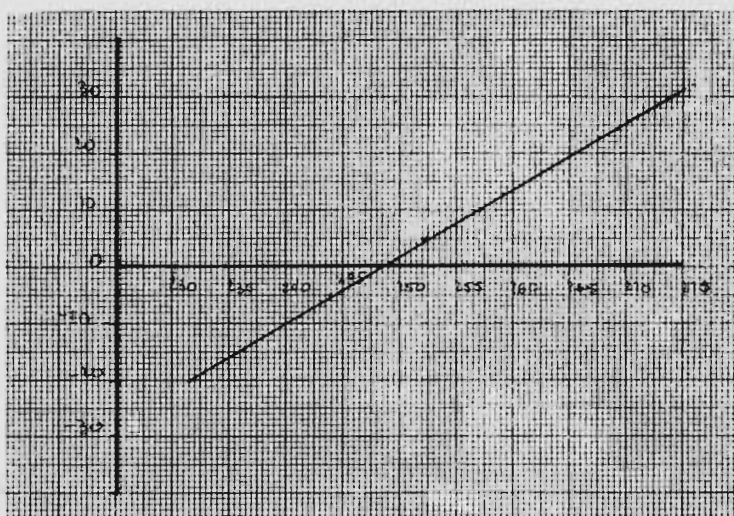


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

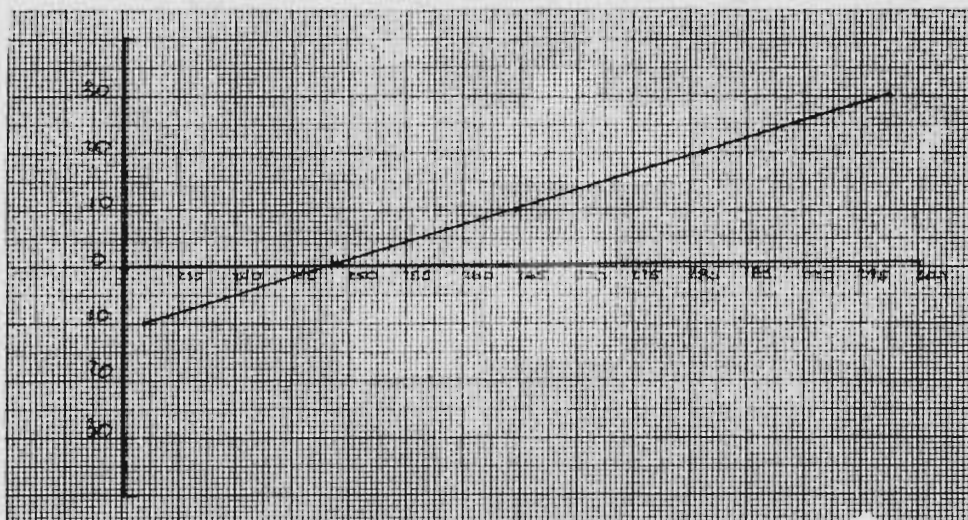
PROPILENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

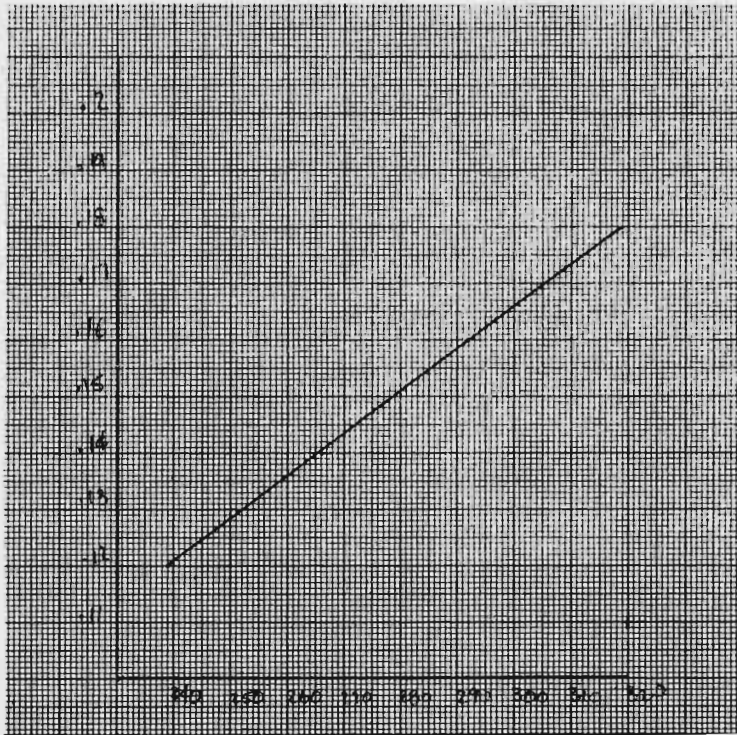


% de costos variables vs. precio al costo.

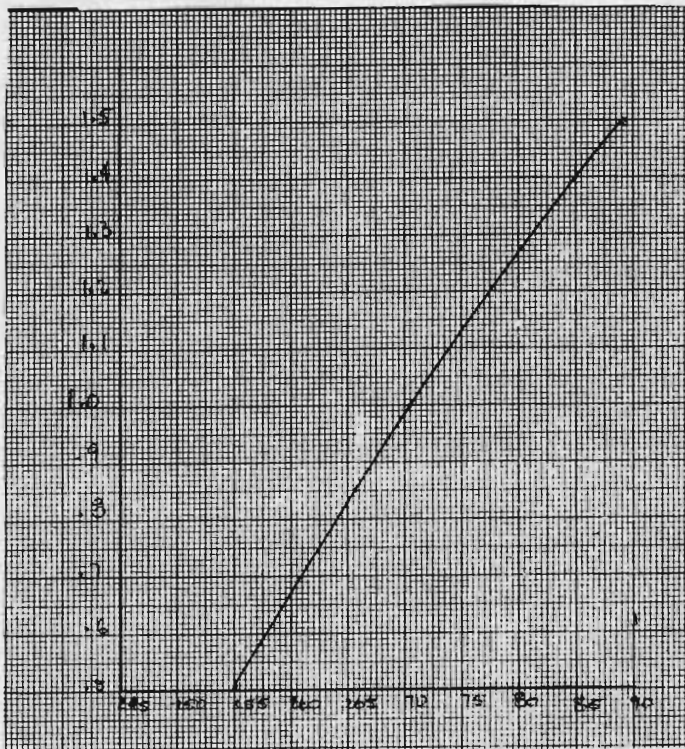


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

ETILENO.

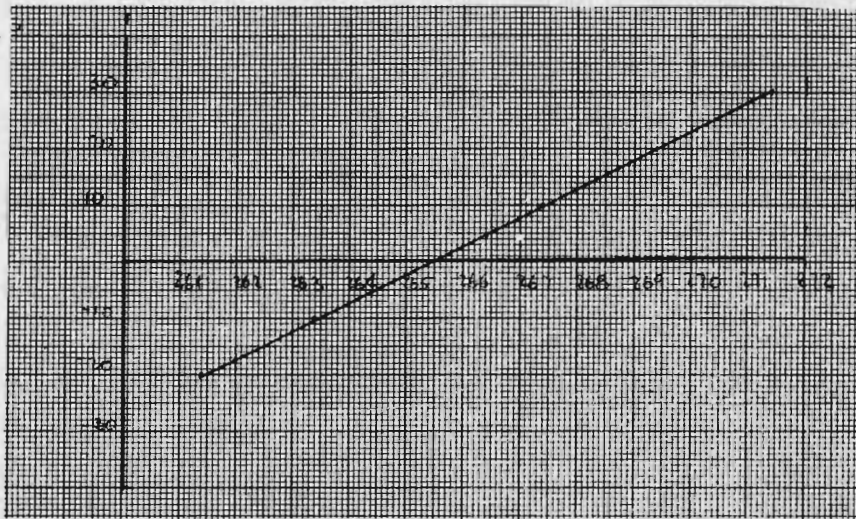


Tasa de interés vs. precio al costo.

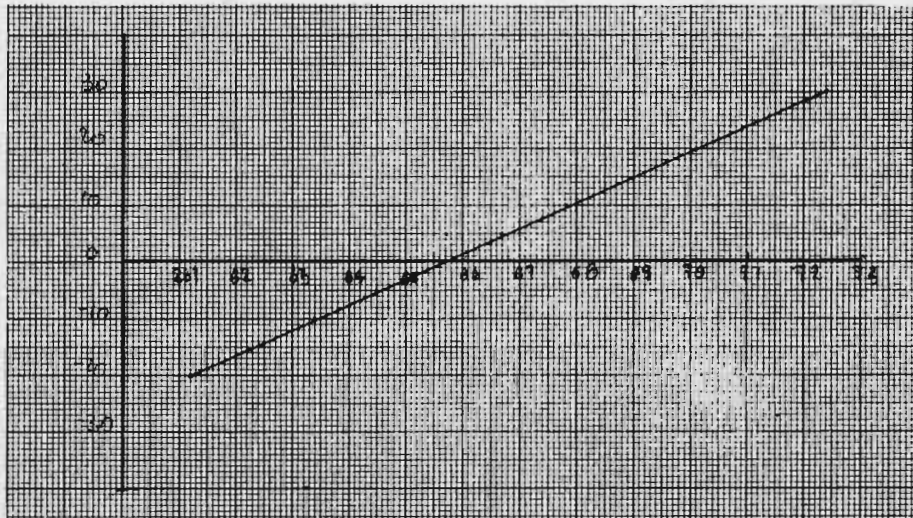


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

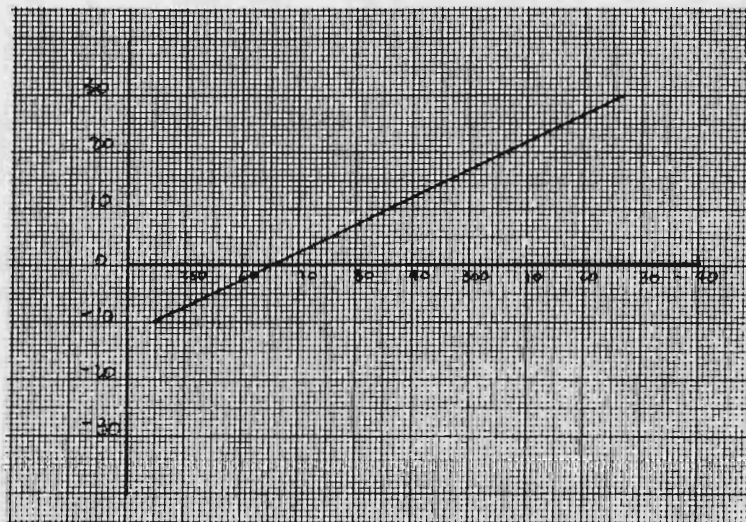
ETILENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

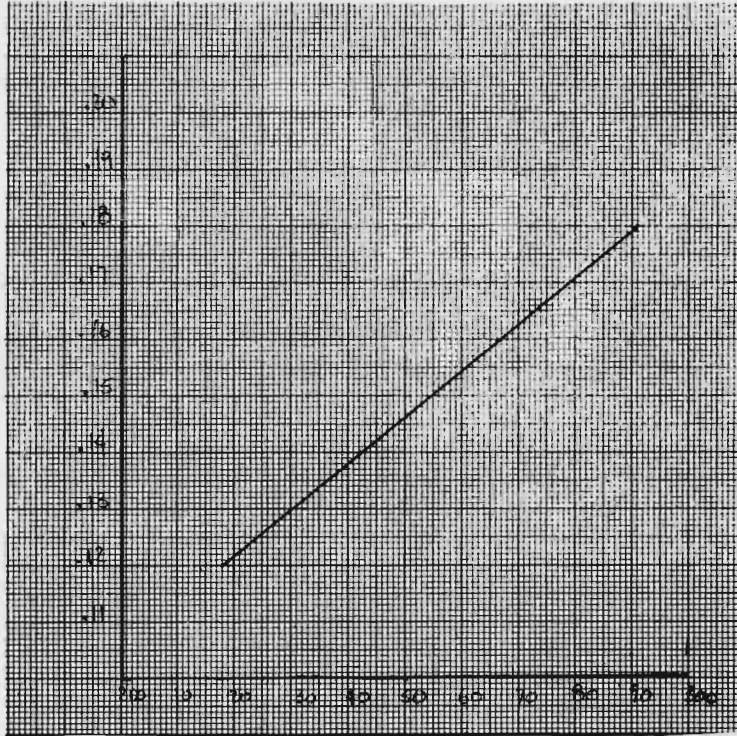


% de costos variables vs. precio al costo.

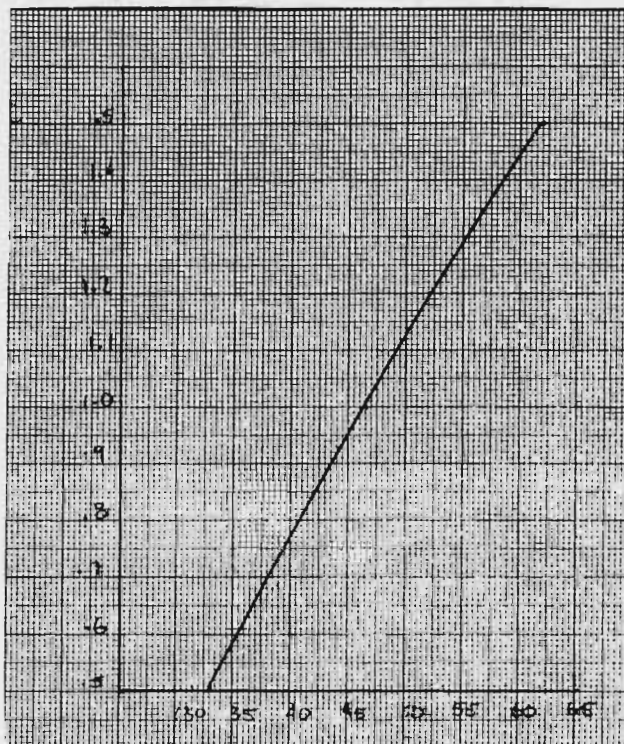


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

ACETALDEHIDO.



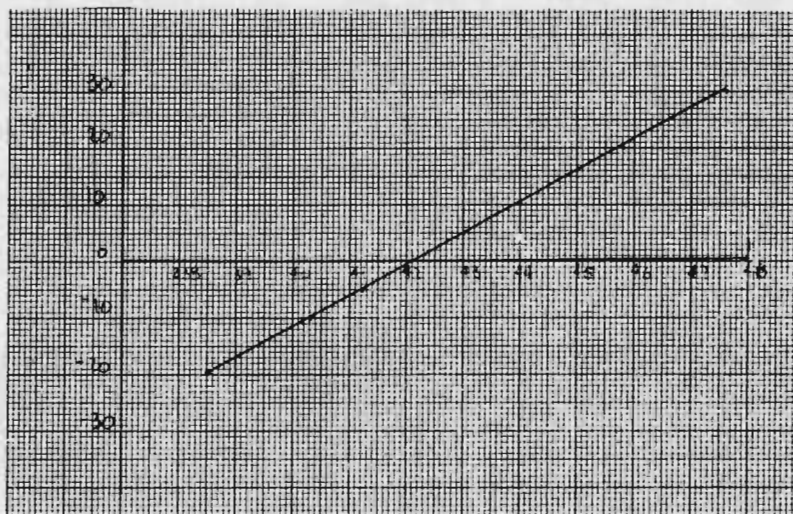
Tasa de interés vs. precio al costo.



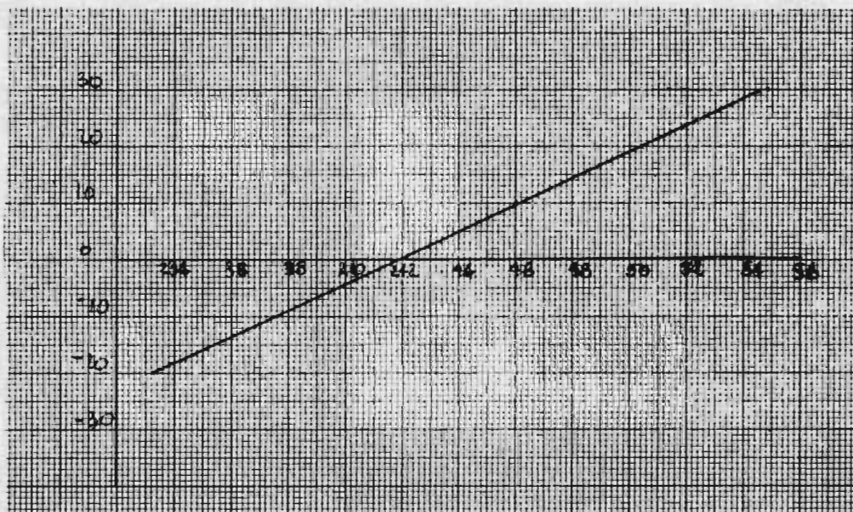
Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.



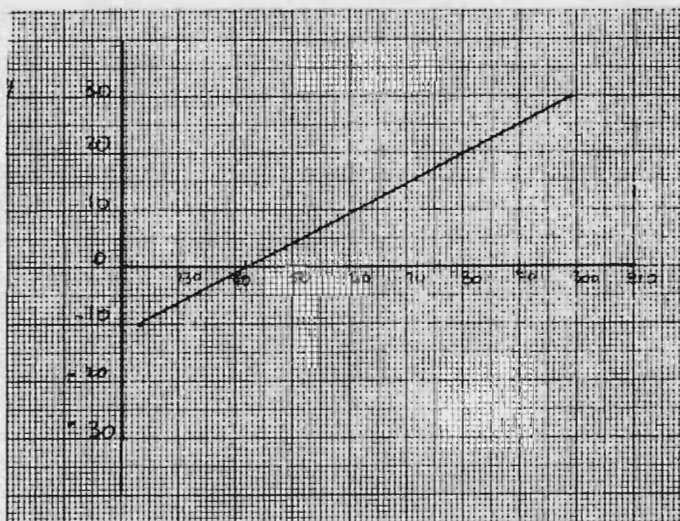
ACETALDEHIDO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

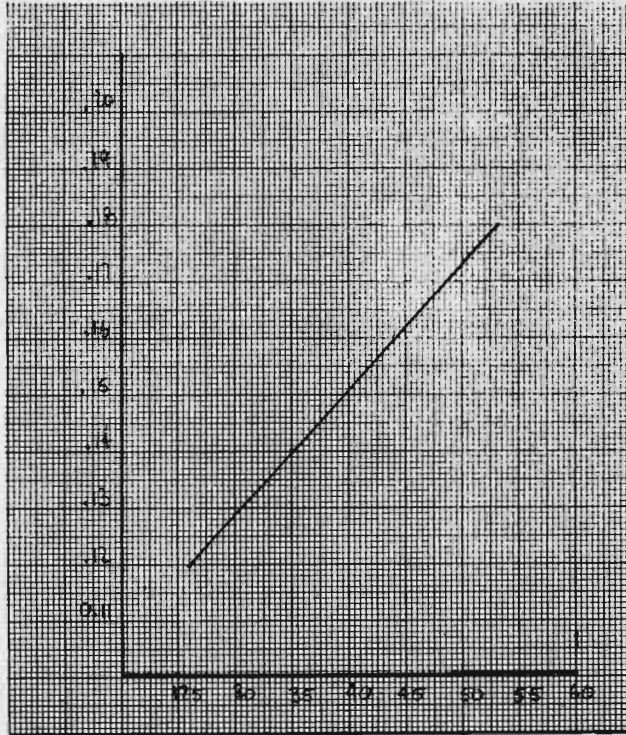


% de costos variables vs. precio al costo.

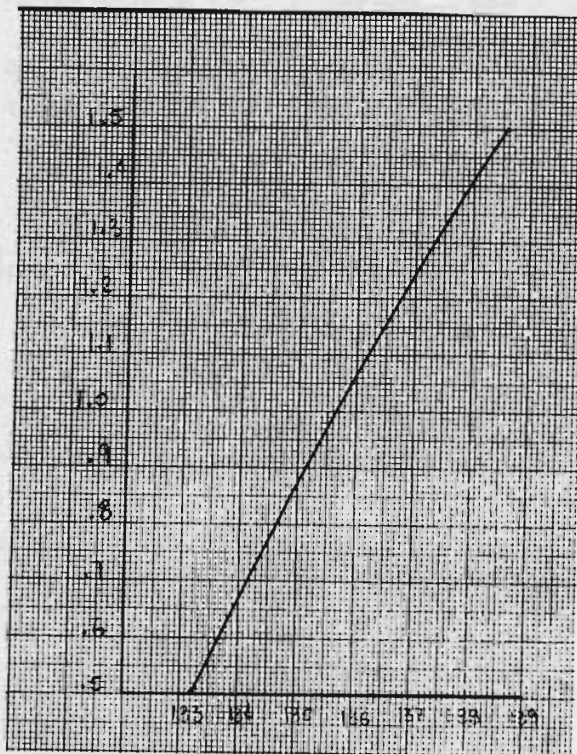


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

CLORO.

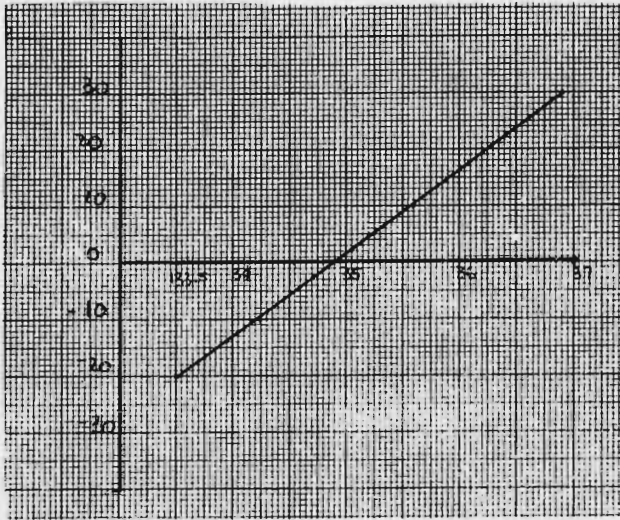


Tasa de interés vs. precio al costo.

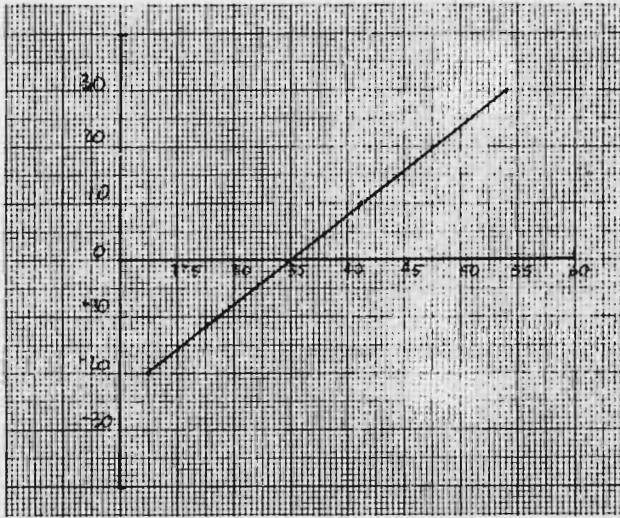


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

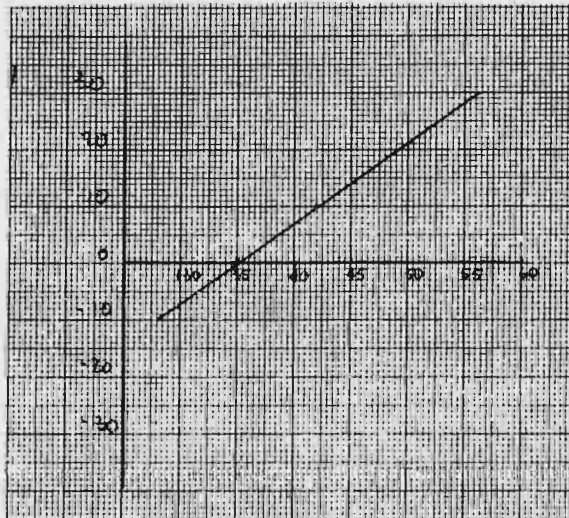
CLORO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

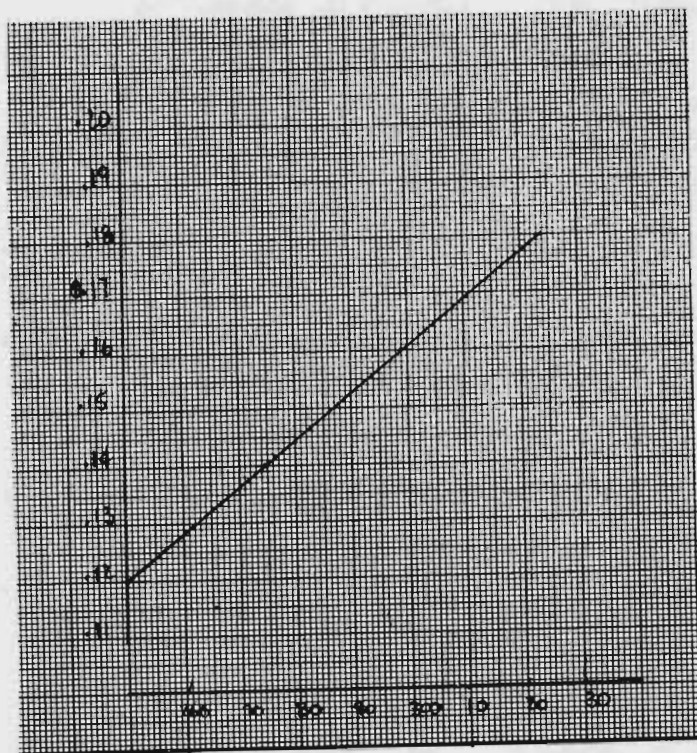


% de costos variables vs. precio al costo.

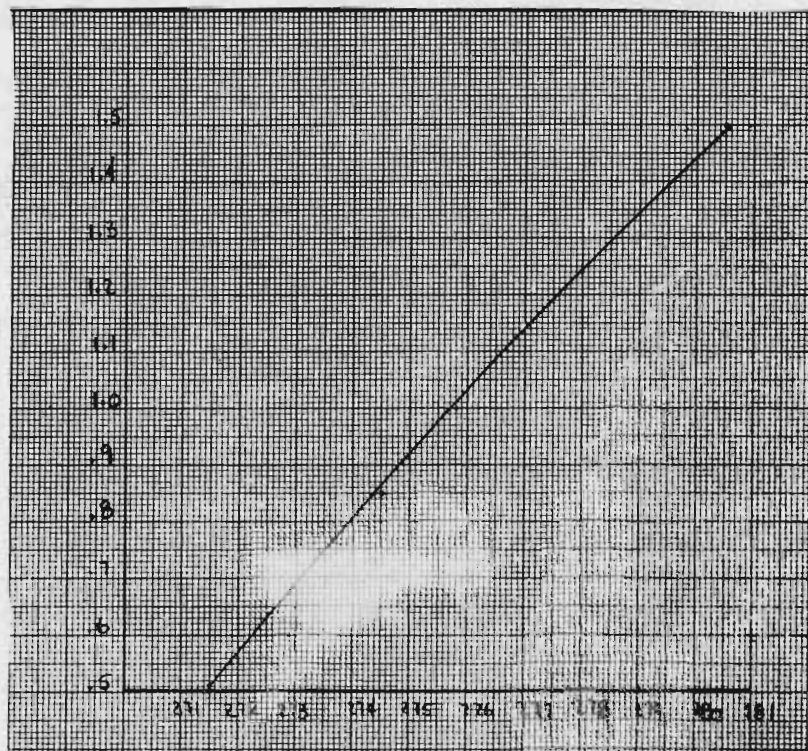


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

DODECENO.

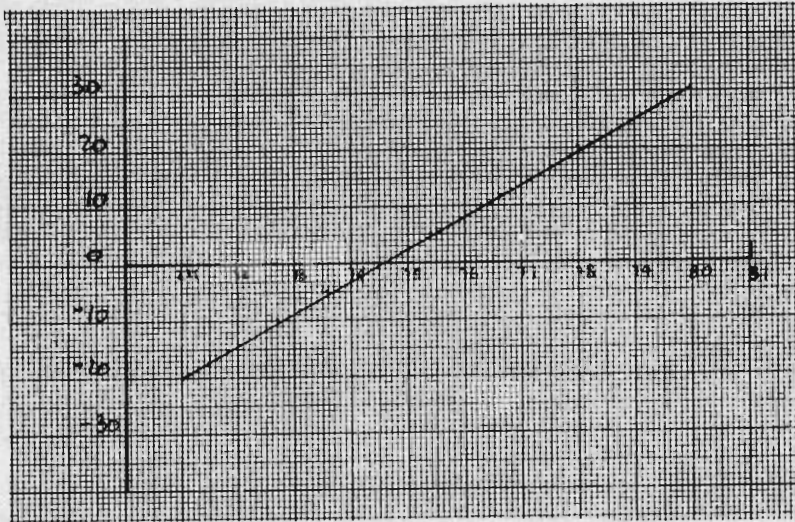


Tasa de interés vs. precio al costo.

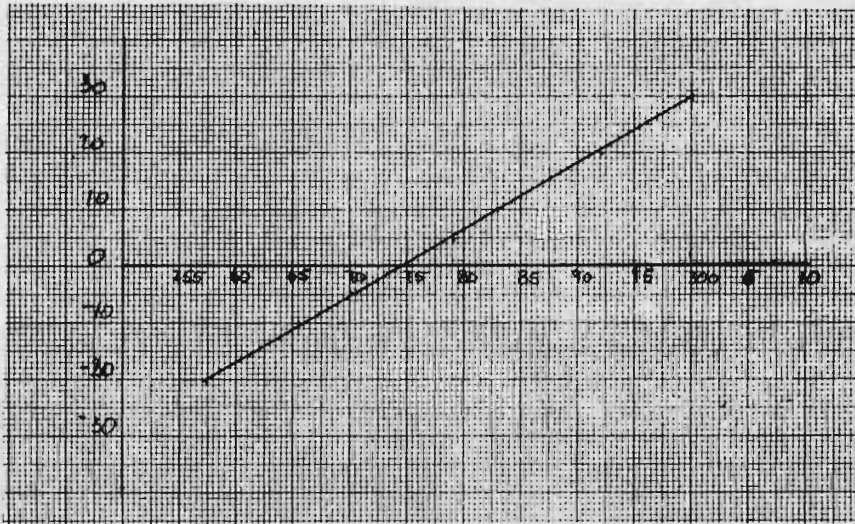


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

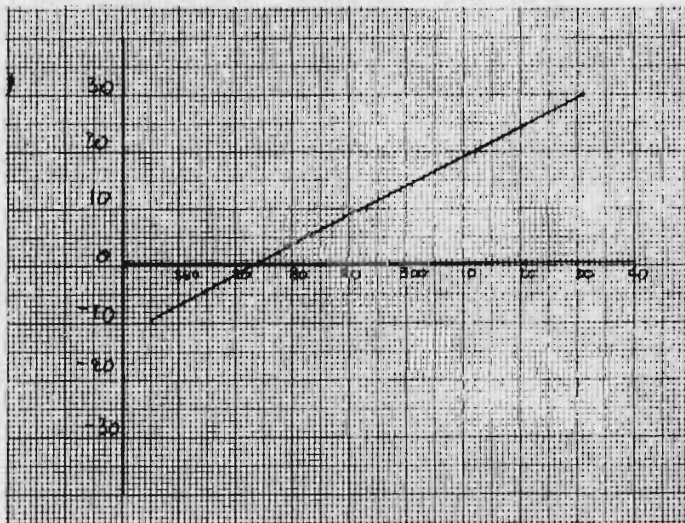
DODECENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

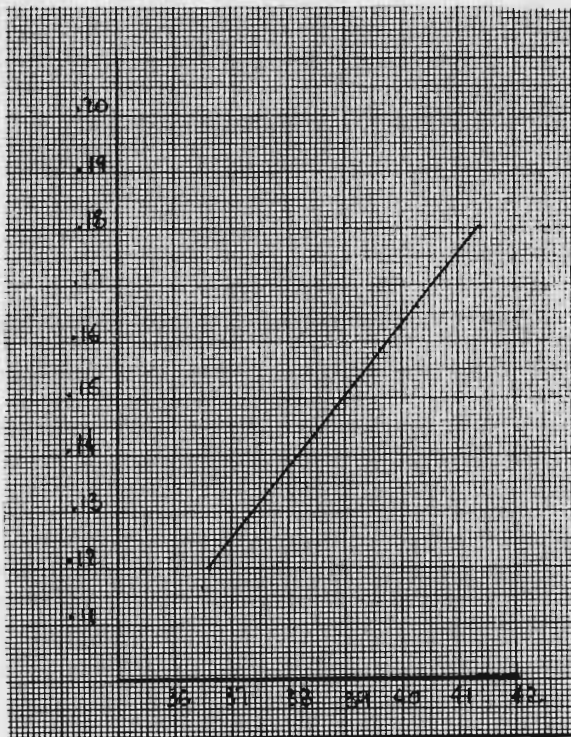


% de costos variables vs. precio al costo.

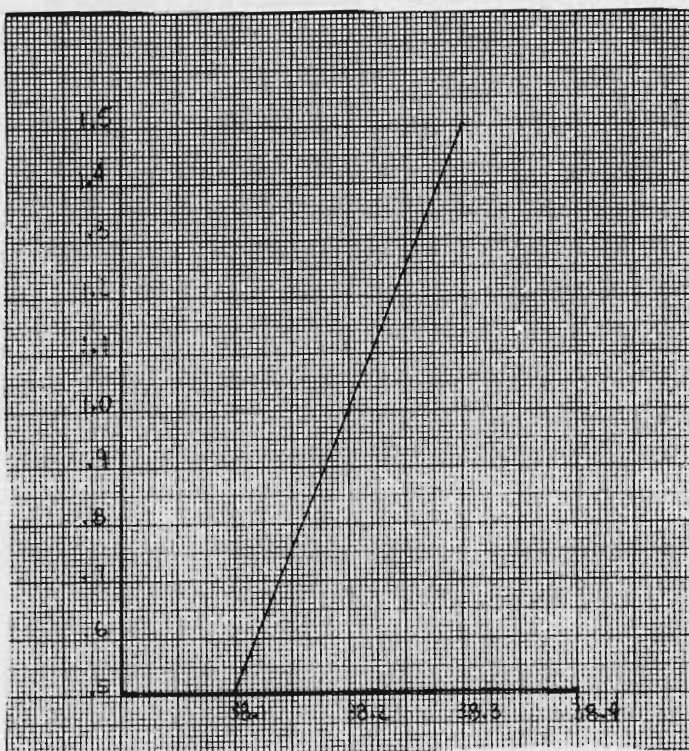


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

AMONIACO.

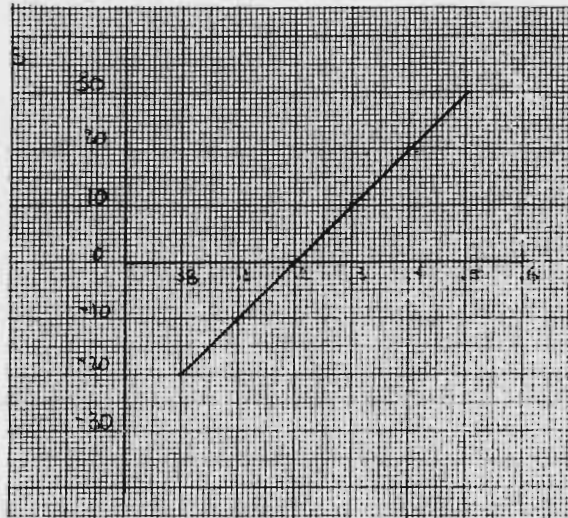


Tasa de interés vs. precio al costo.

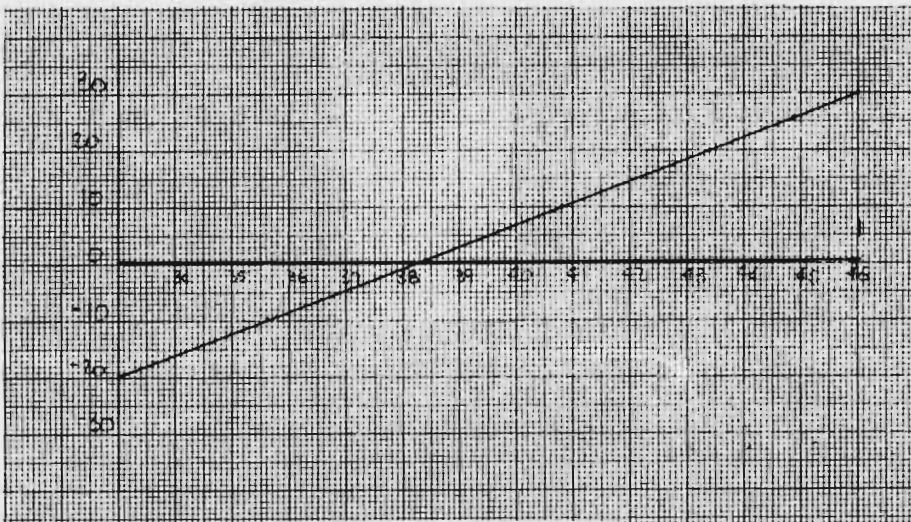


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

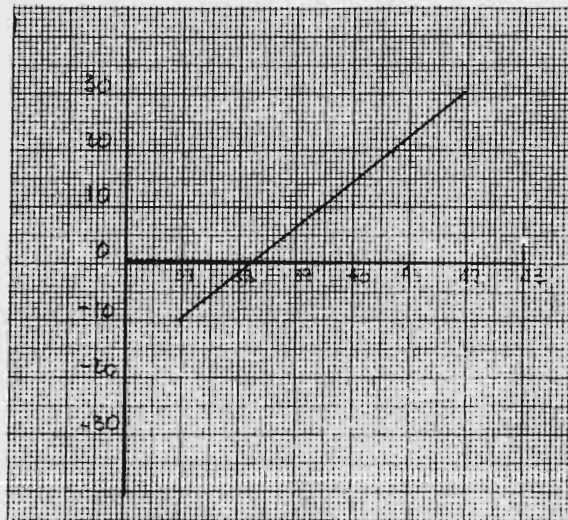
AMONIACO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

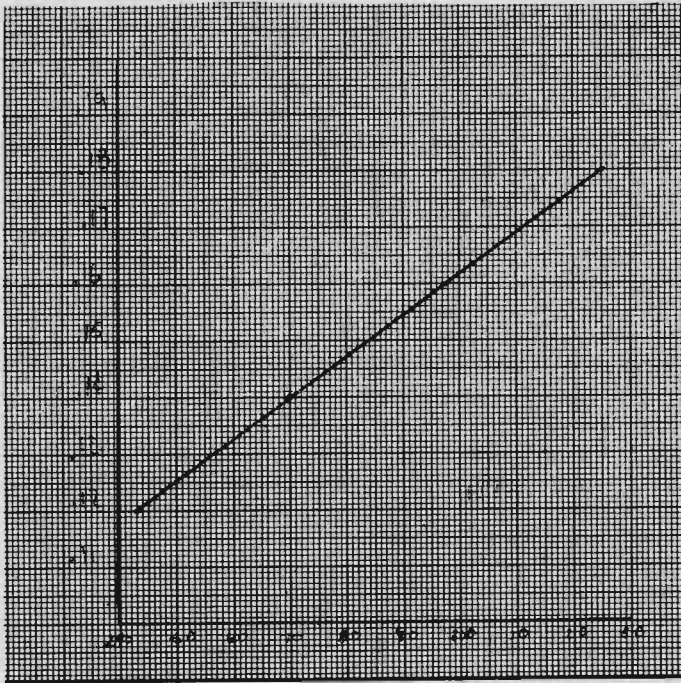


% de costos variables vs. precio al costo.

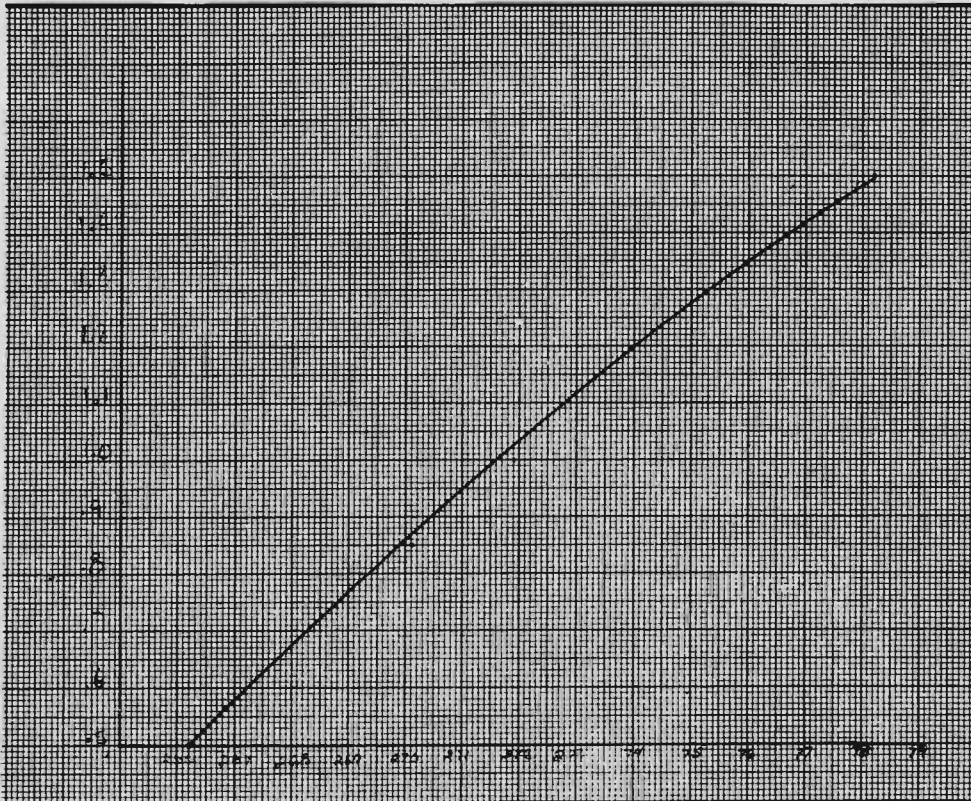


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

CUMENO.



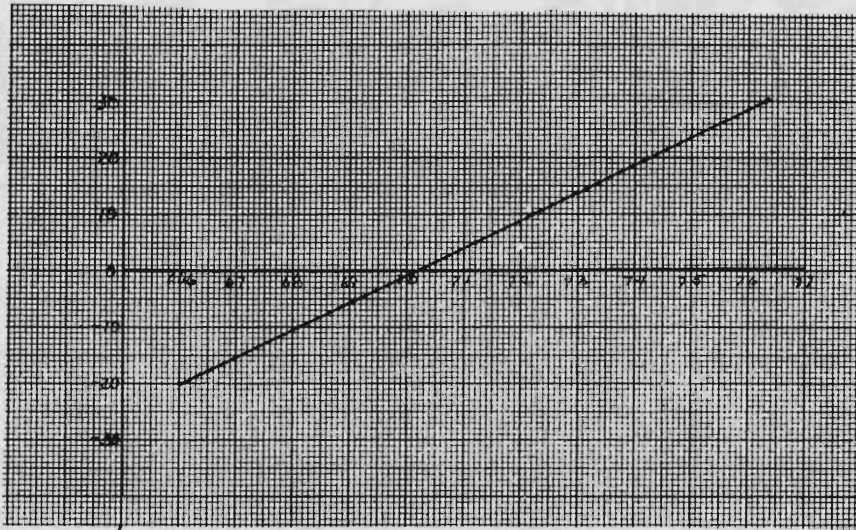
Tasa de interés vs. precio al costo.



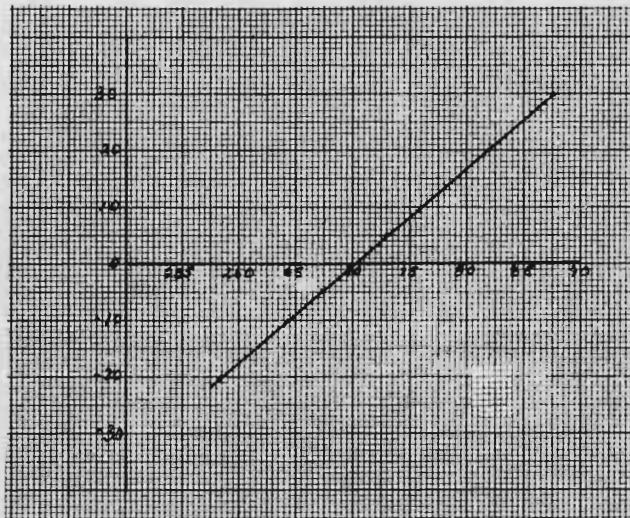
Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.



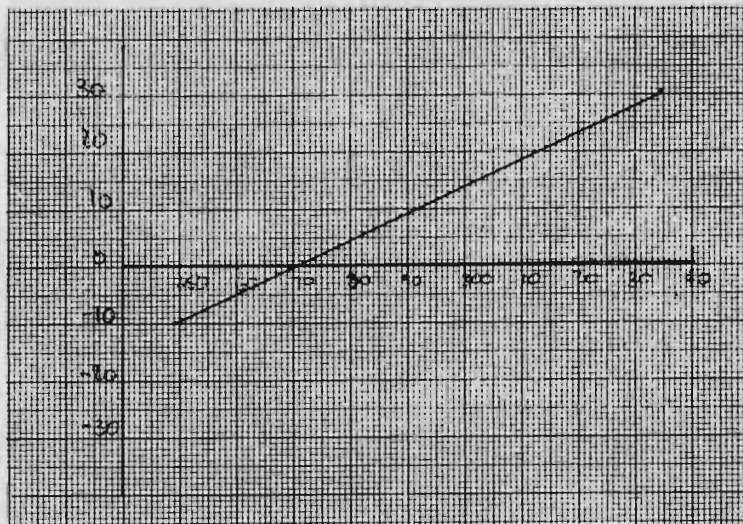
CUMENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

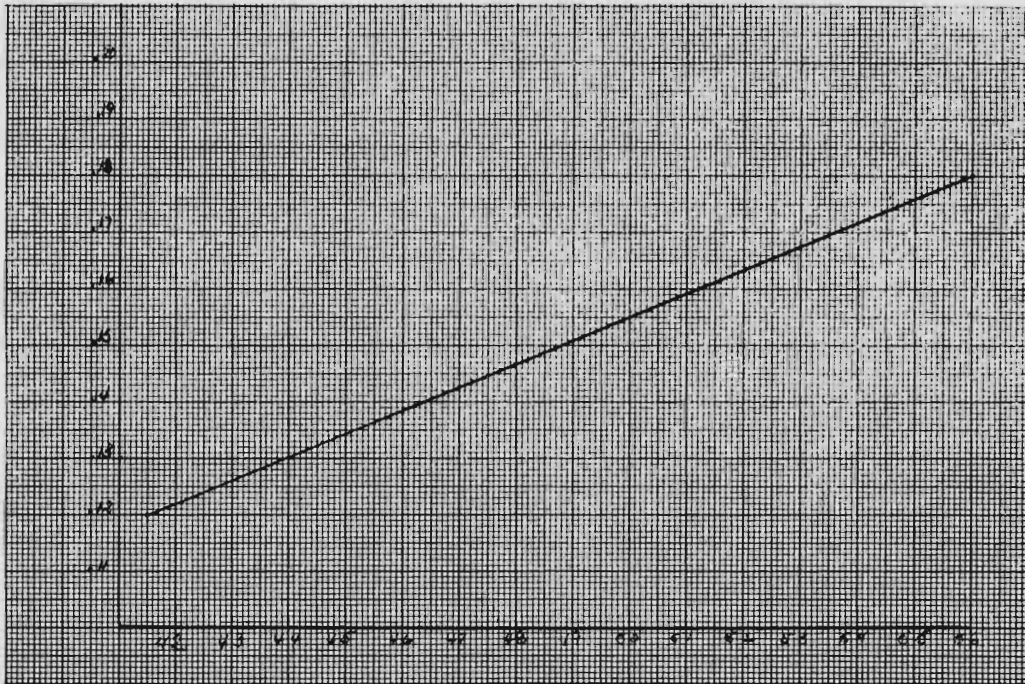


% de costos variables vs. precio al costo.

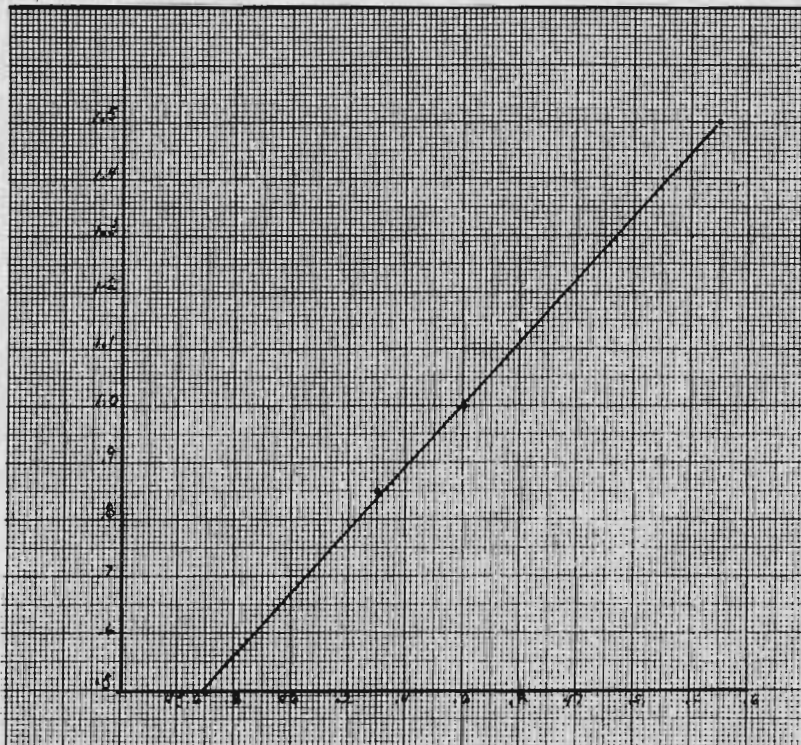


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

ANHIDRIDO CARBONICO.

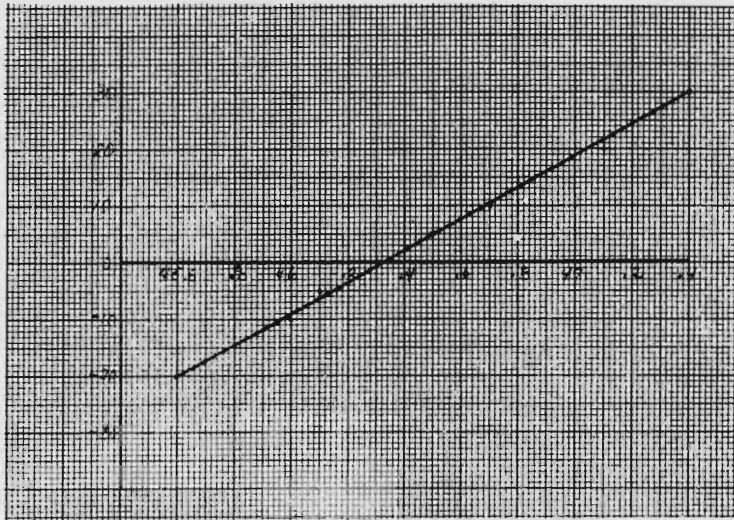


Tasa de interés vs. precio al costo.

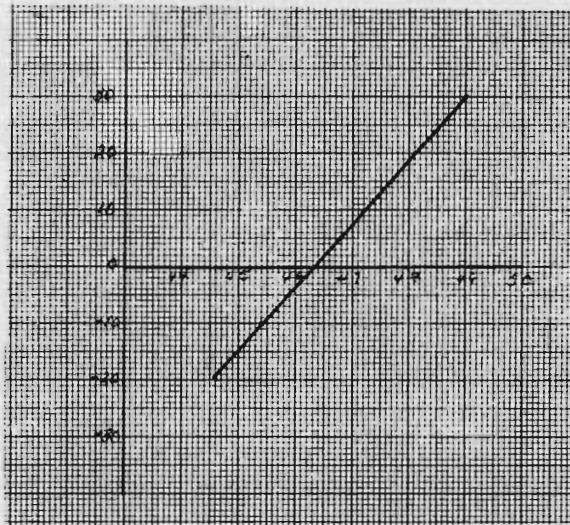


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

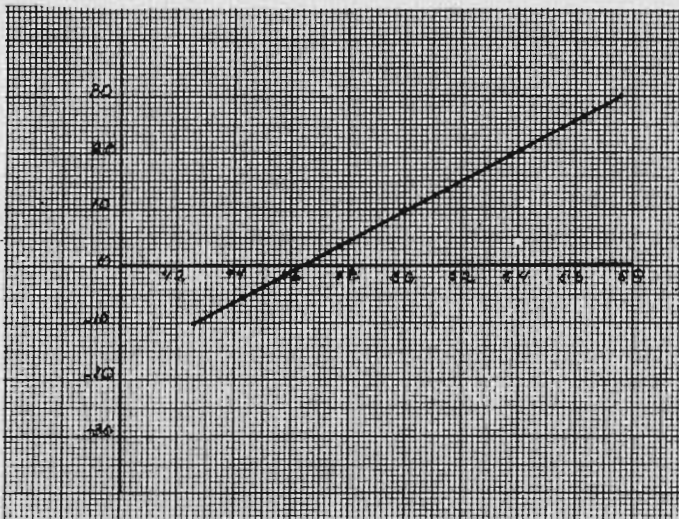
ANHIDRIDO CARBONICO.



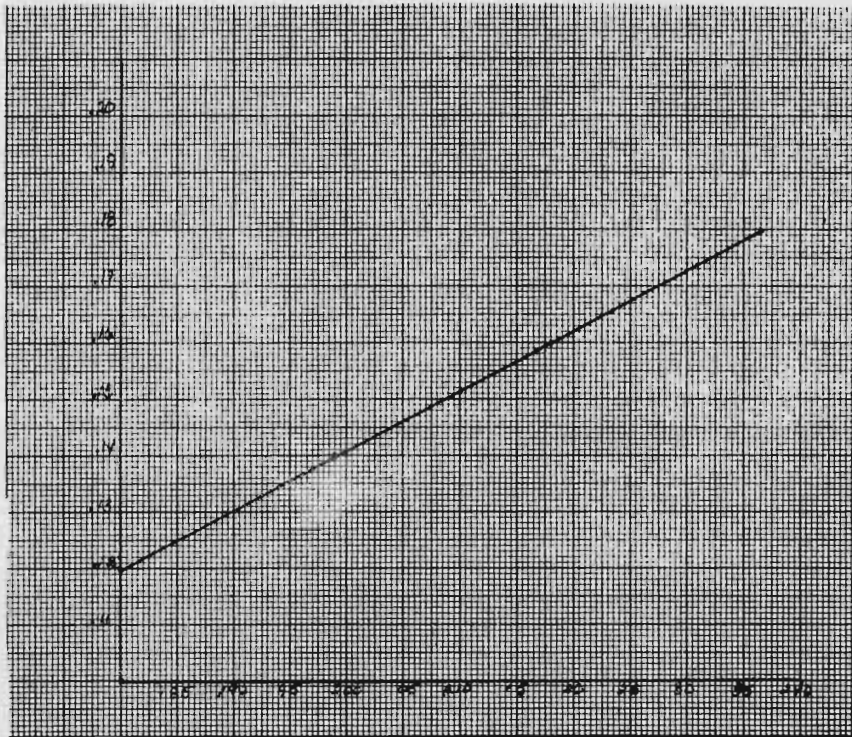
% de costos fijos vs. precio al costo.



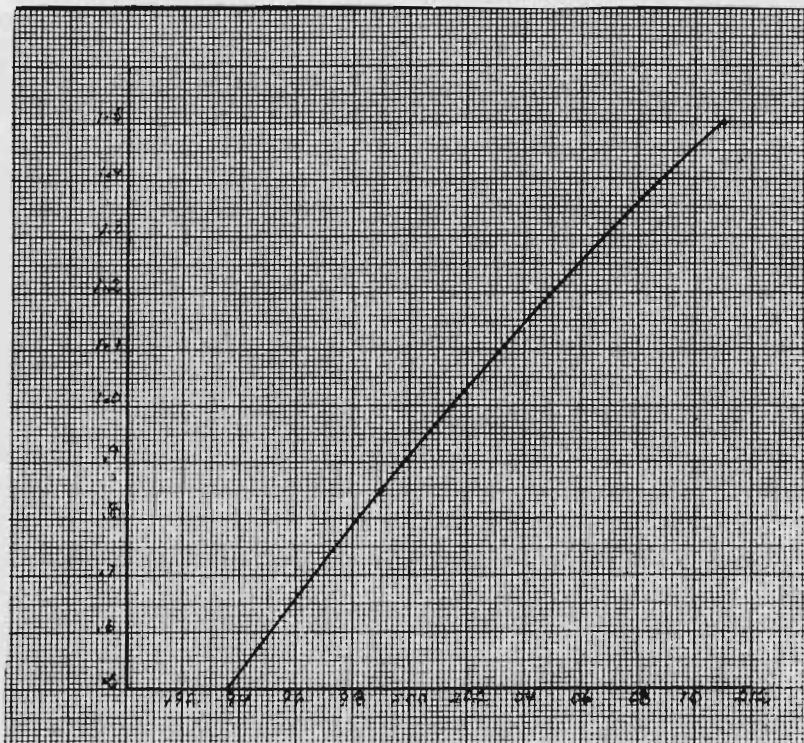
% de costos variables vs. precio al costo.



% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

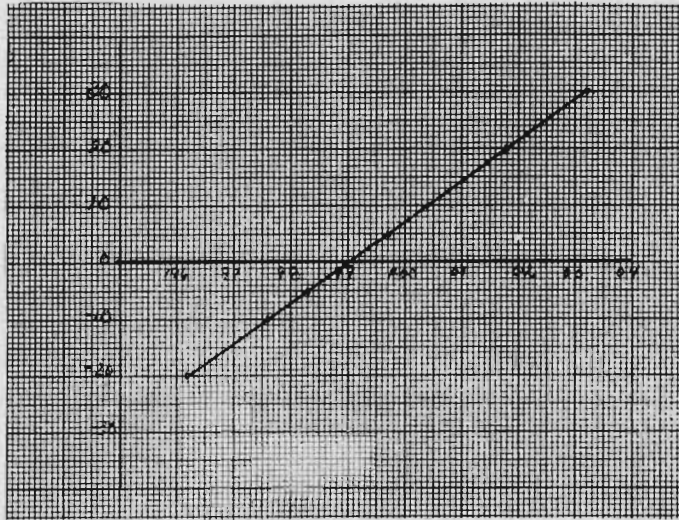


Tasa de interés vs. precio al costo.

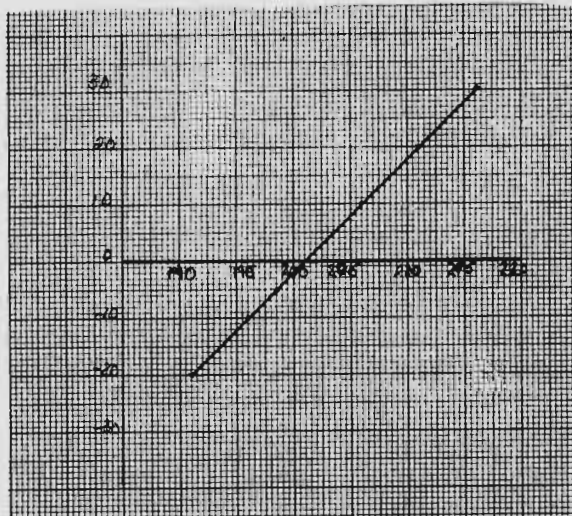


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

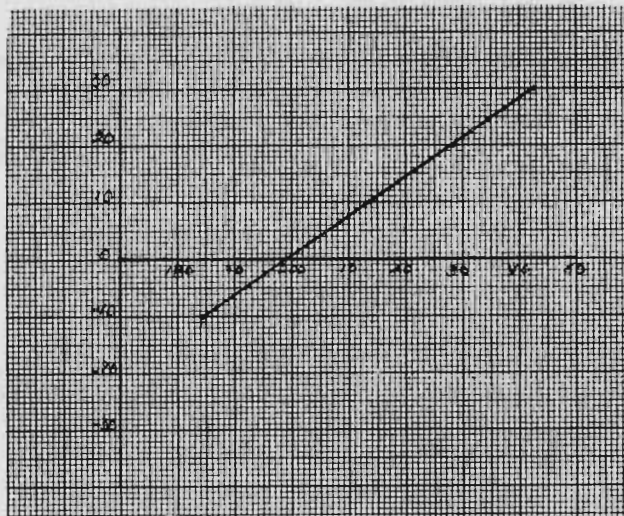
ETILBENCENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

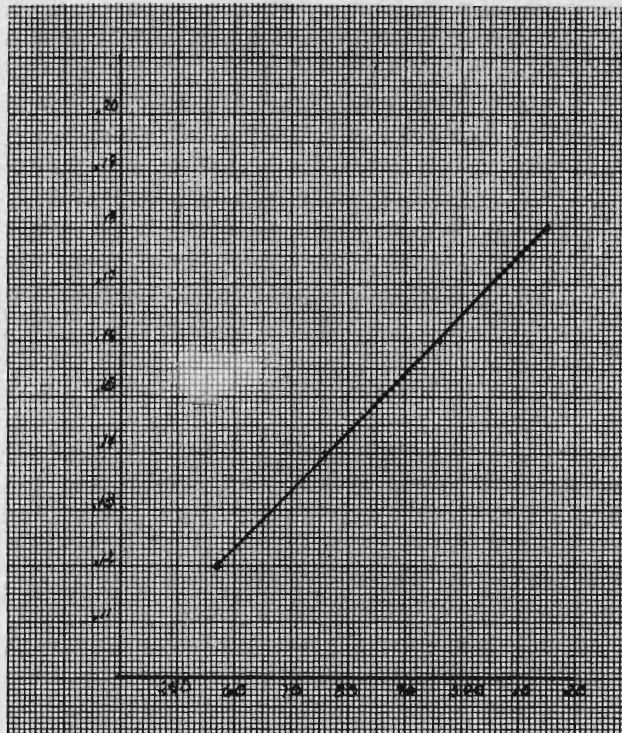


% de costos variables vs. precio al costo.

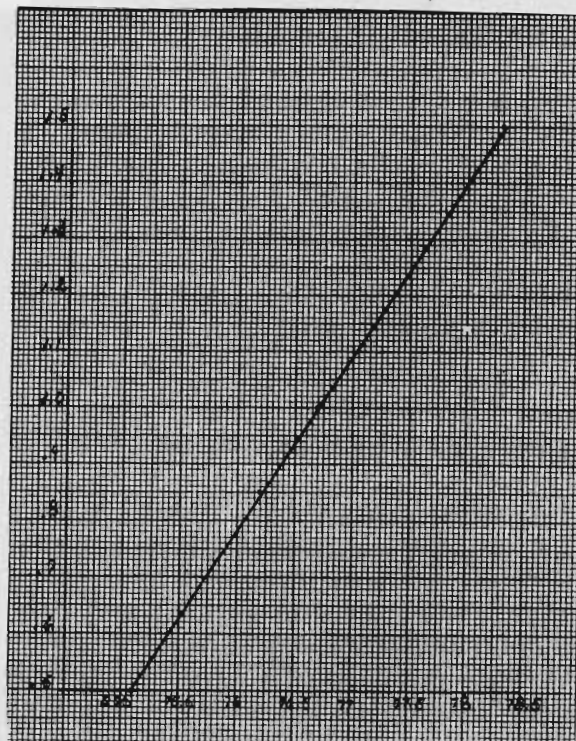


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

BUTADIENO.

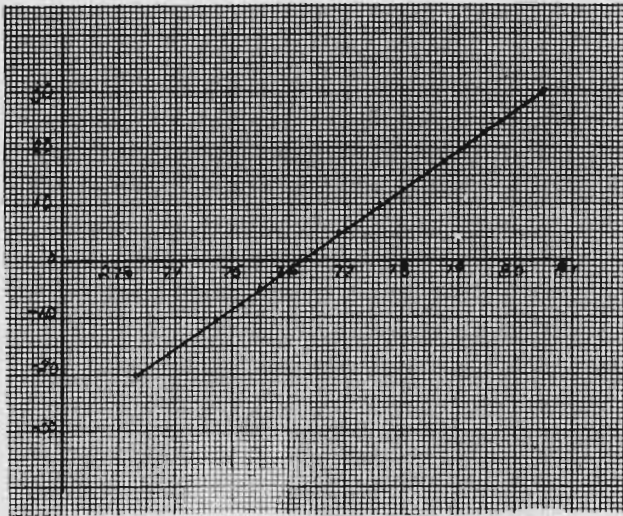


Tasa de interés vs. precio al costo.

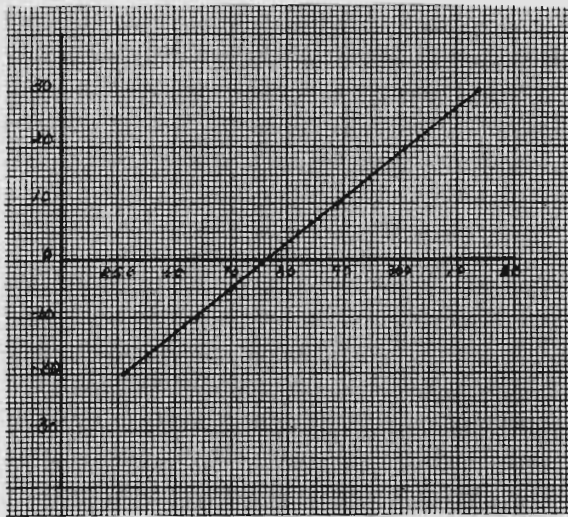


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

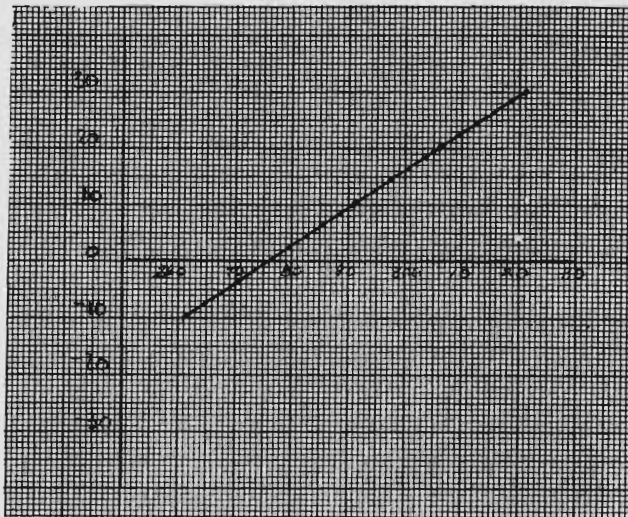
BUTADIENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

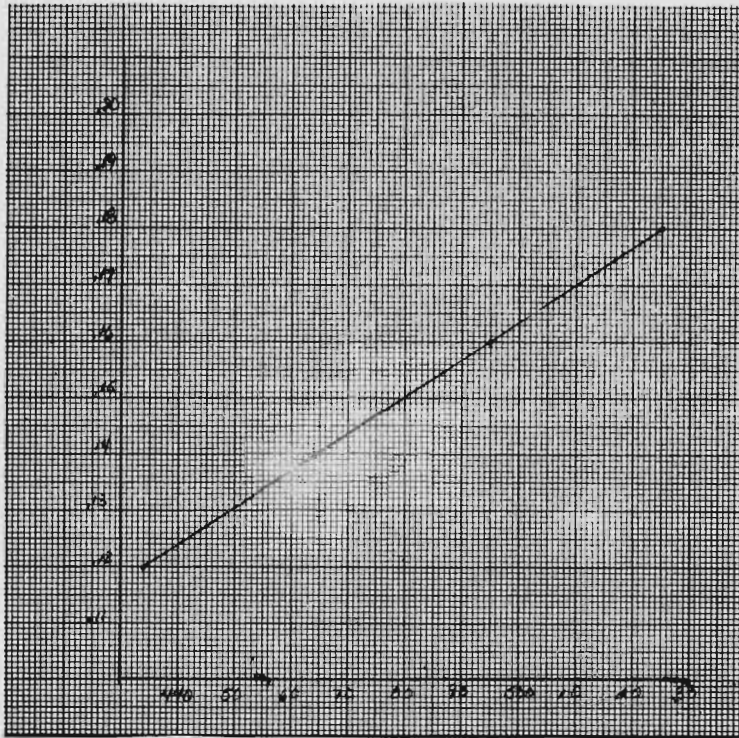


% de costos variables vs. precio al costo.

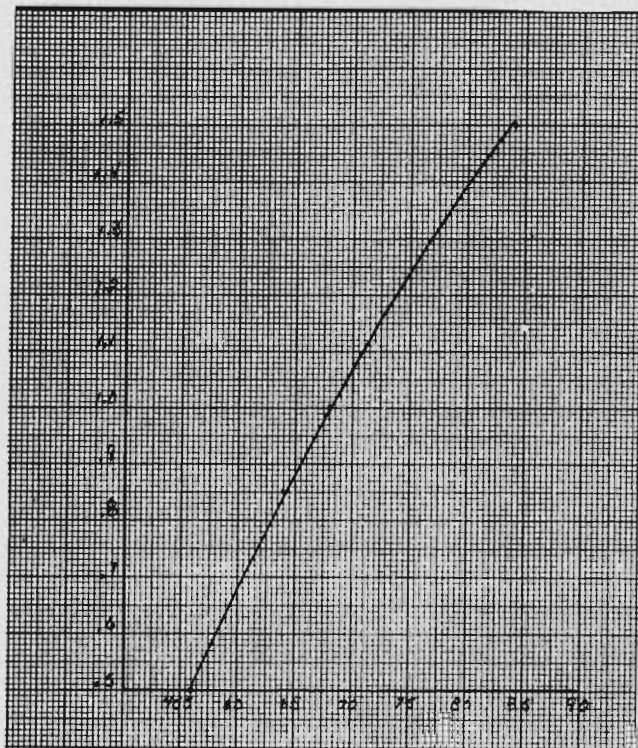


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

VCM

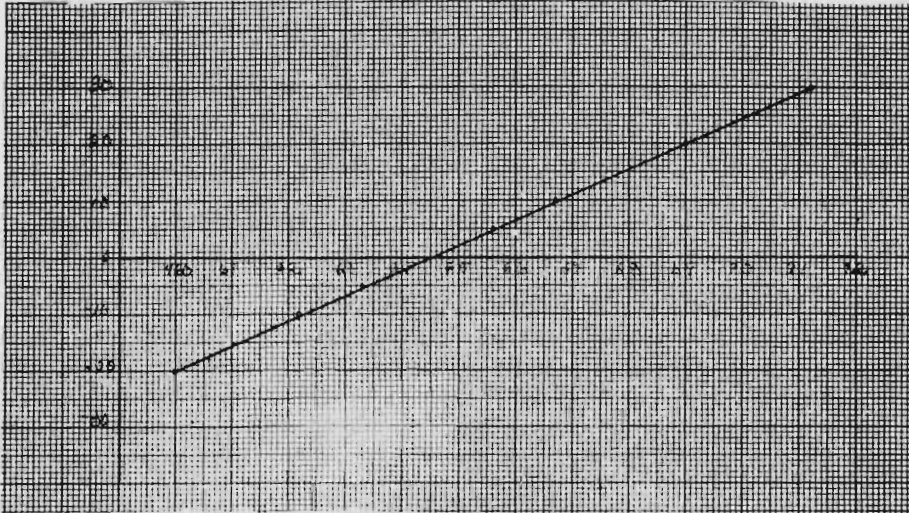


Tasa de interés vs. precio al costo.

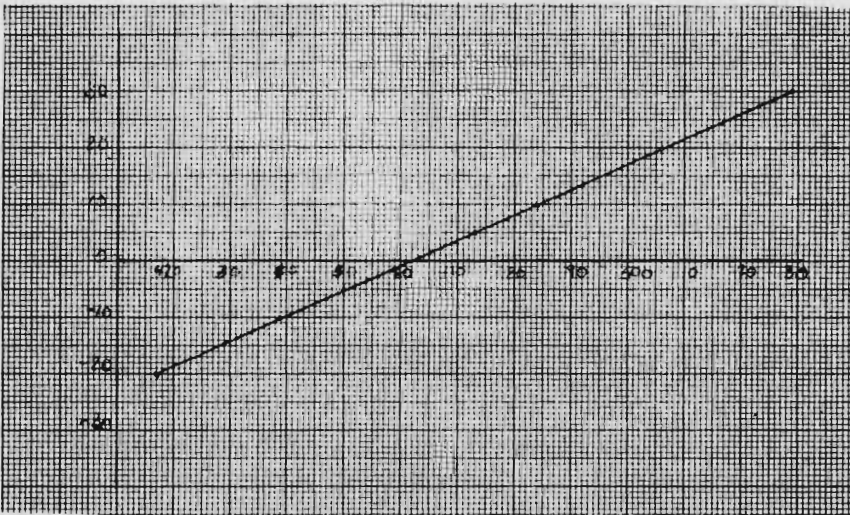


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

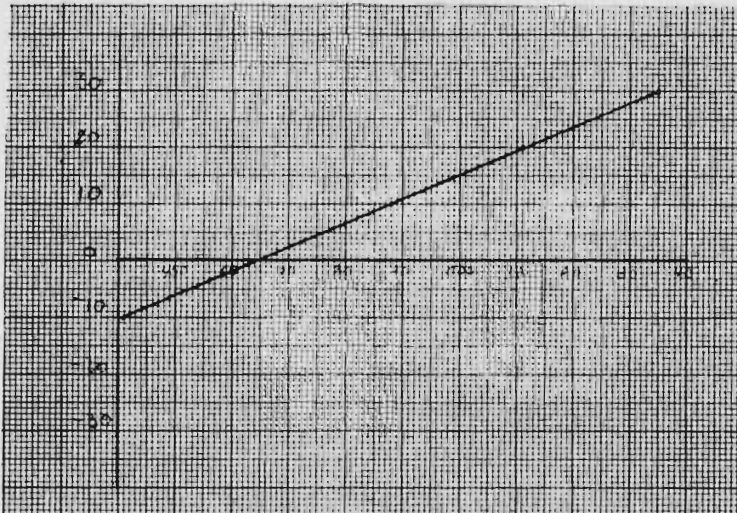




% de costos fijos vs. precio al costo.

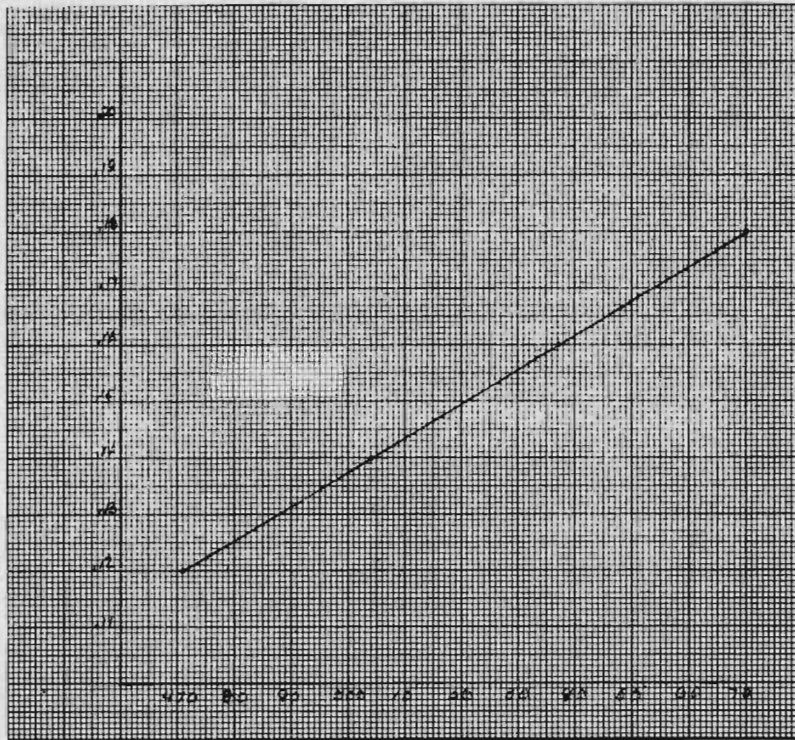


% de costos variables vs. precio al costo.

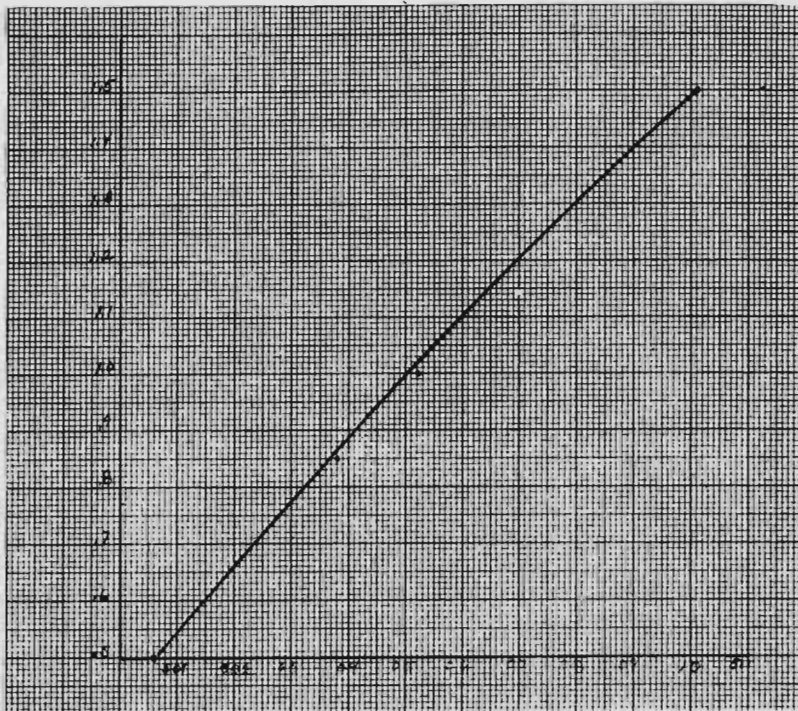


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

ACRILONITRILO.

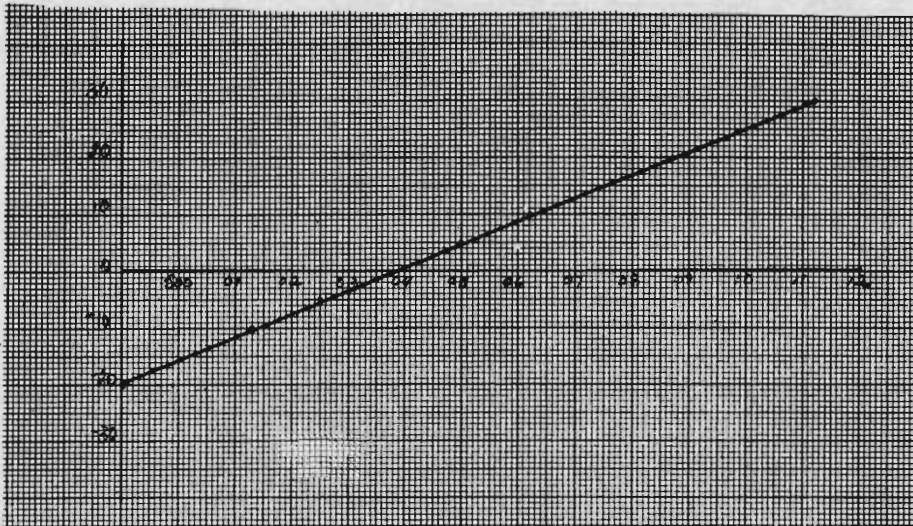


Tasa de interés vs. precio al costo.

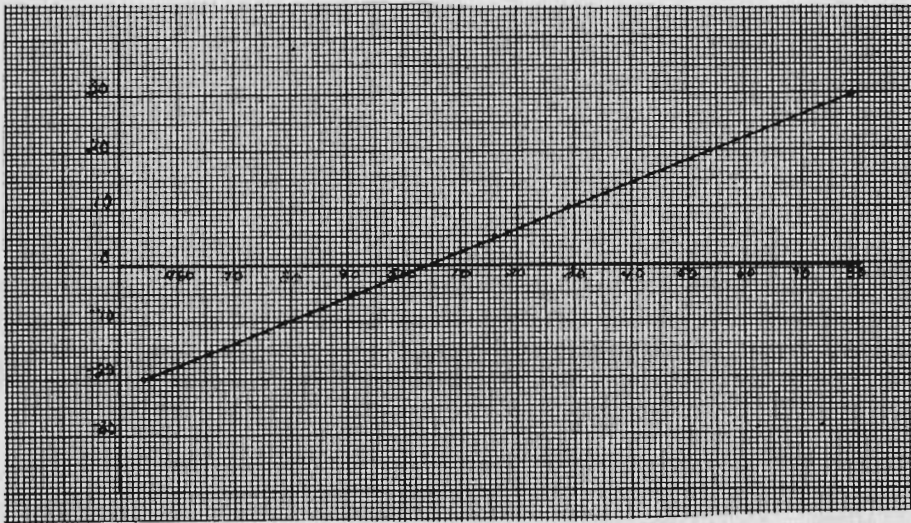


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

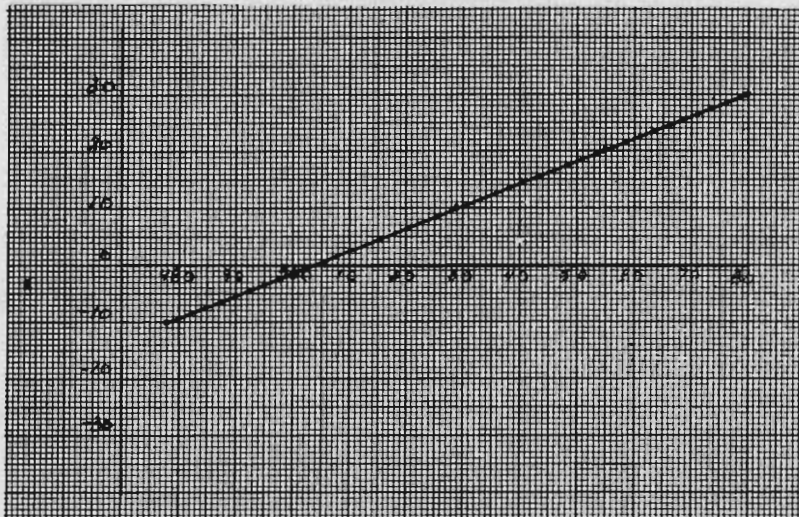
ACRILONITRILO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

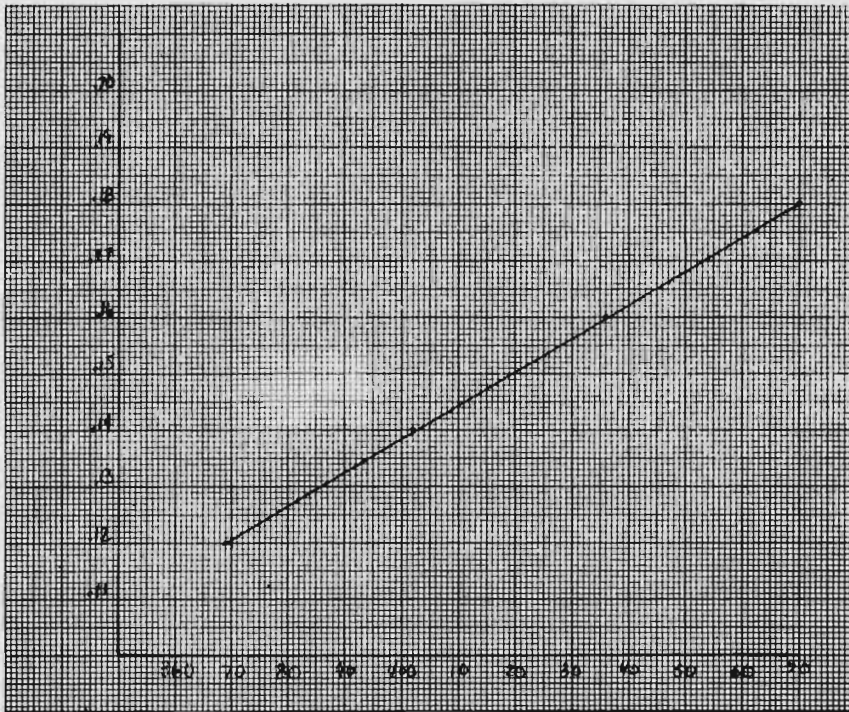


% de costos variables vs. precio al costo.

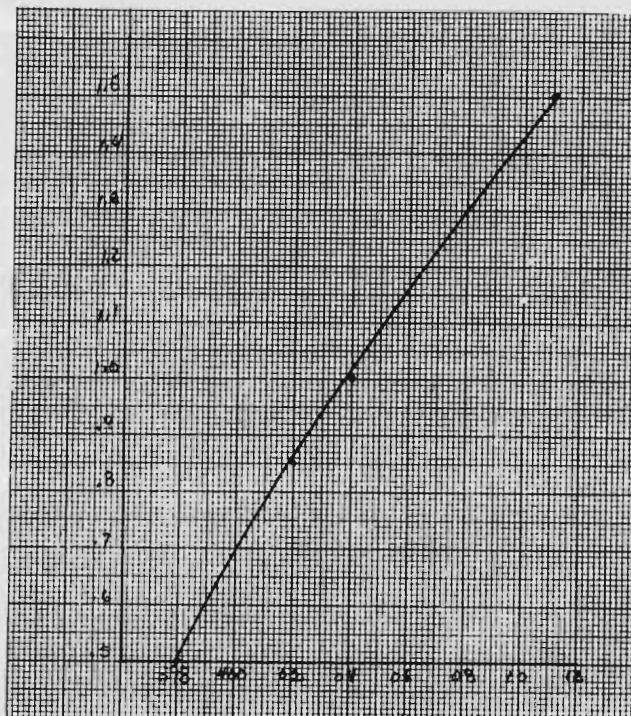


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

DODECILBENCENO.

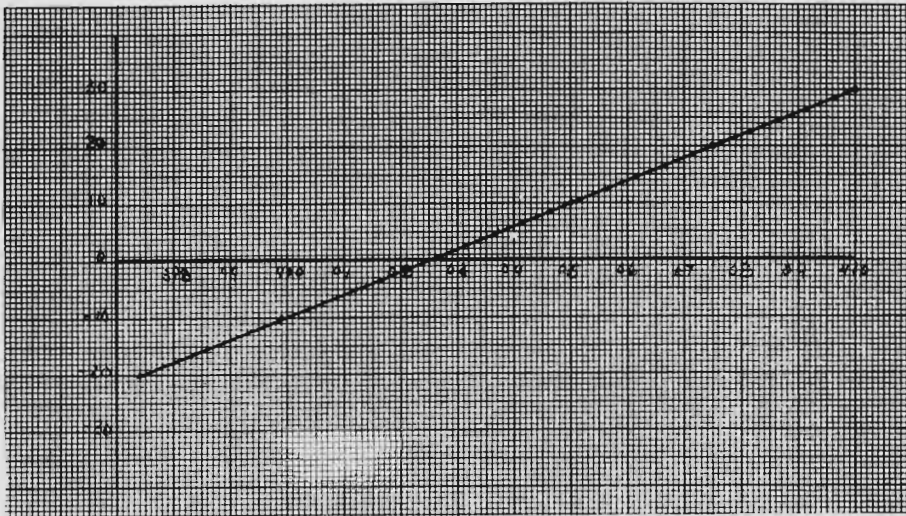


Tasa de interés vs. precio al costo.

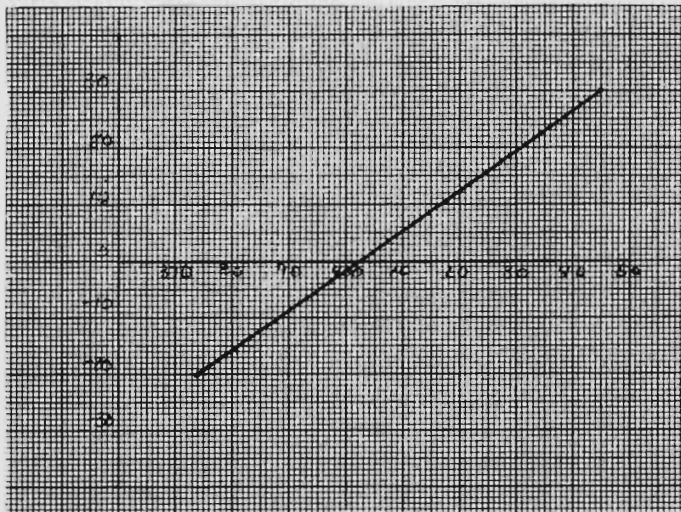


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

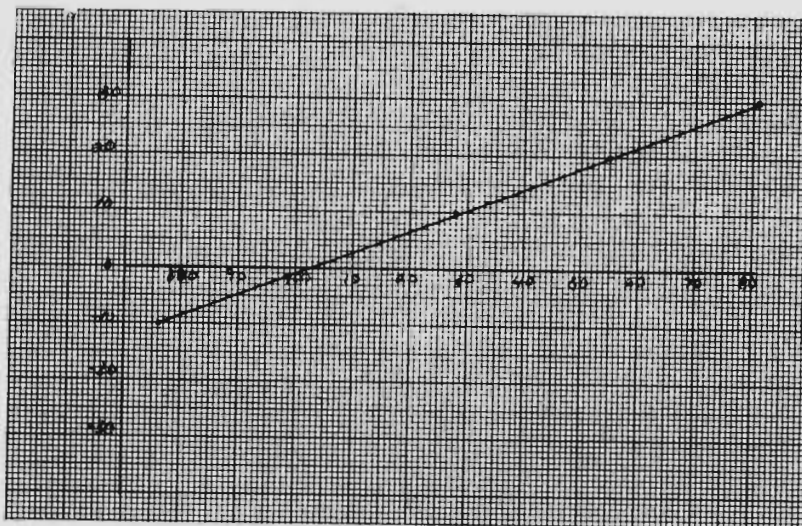
DODECILBENCENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

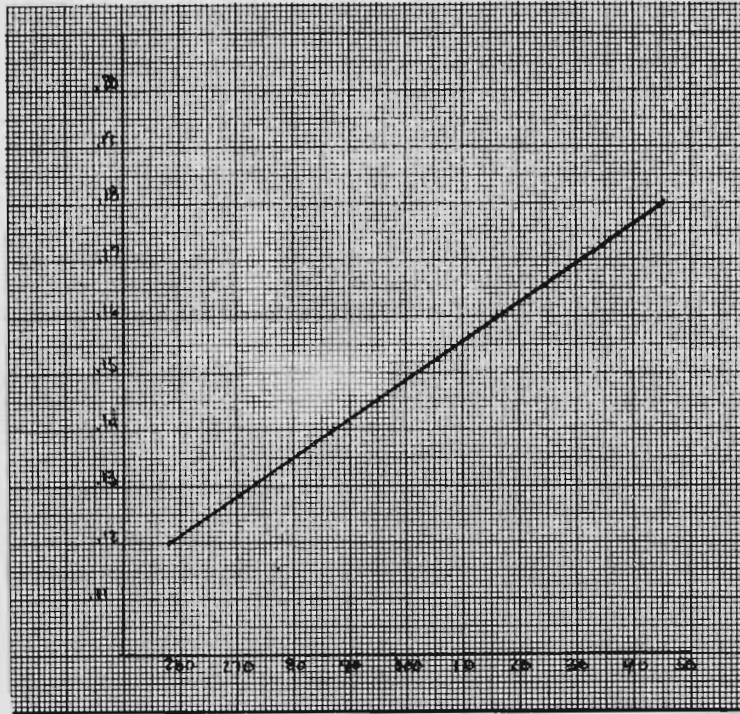


% de costos variables vs. precio al costo.

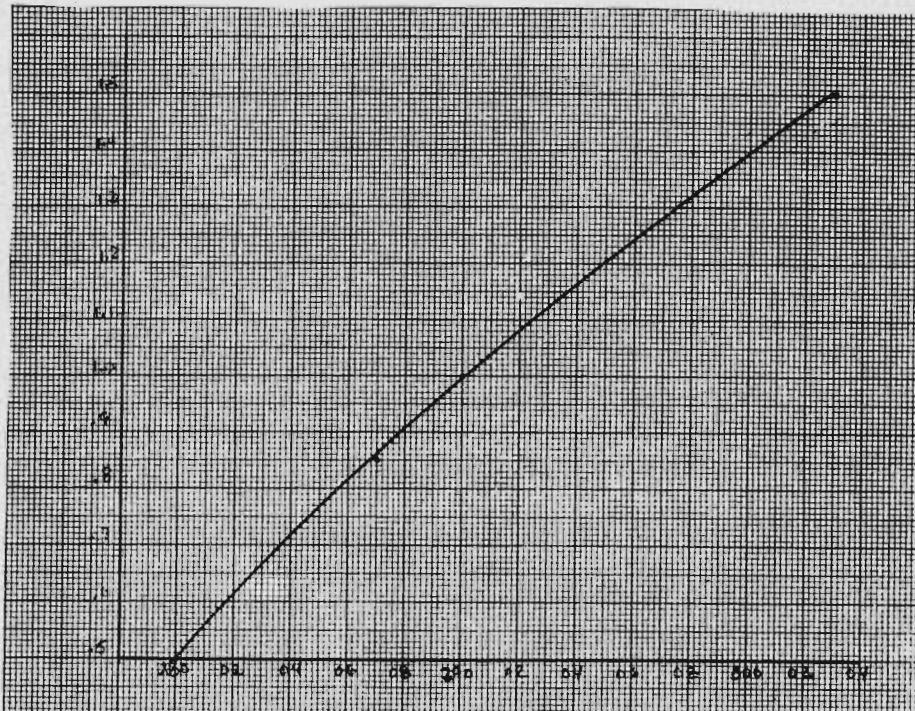


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

ESTIRENO.

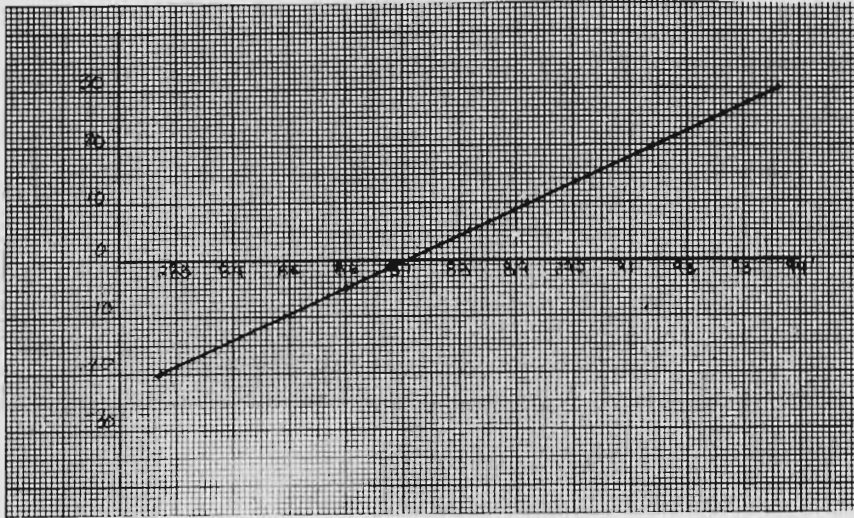


Tasa de interés vs. precio al costo.

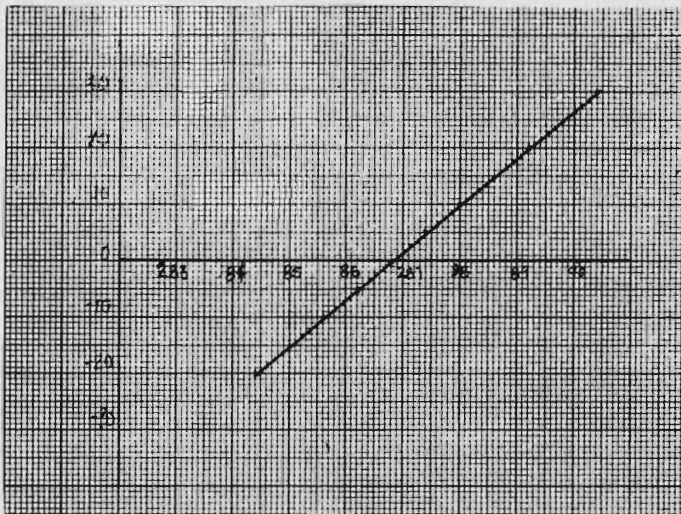


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

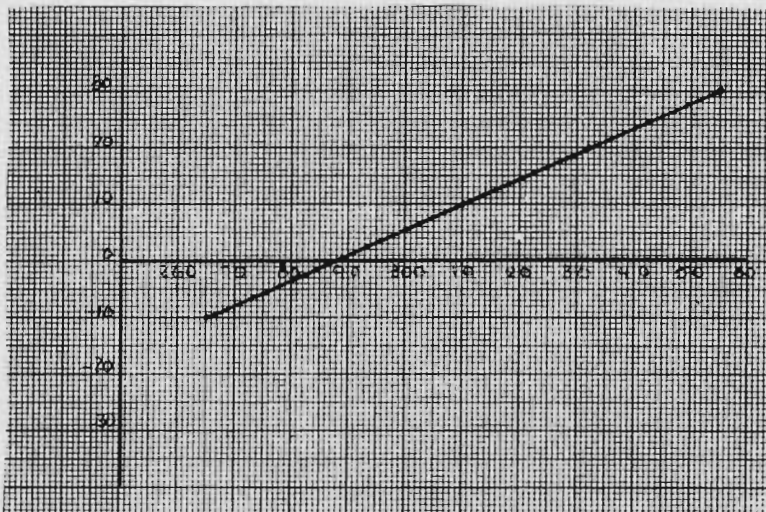
ESTIRENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

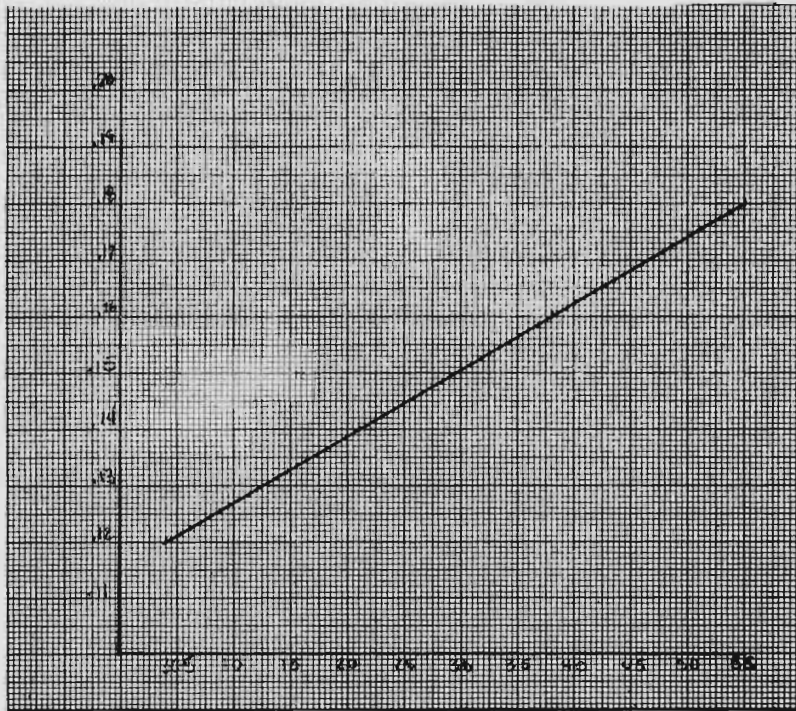


% de costos variables vs. precio al costo.

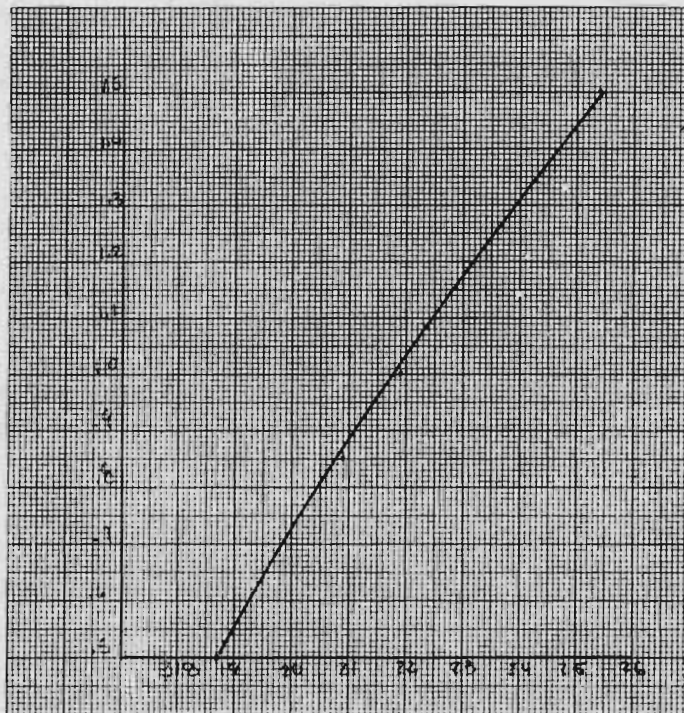


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

METANOL.



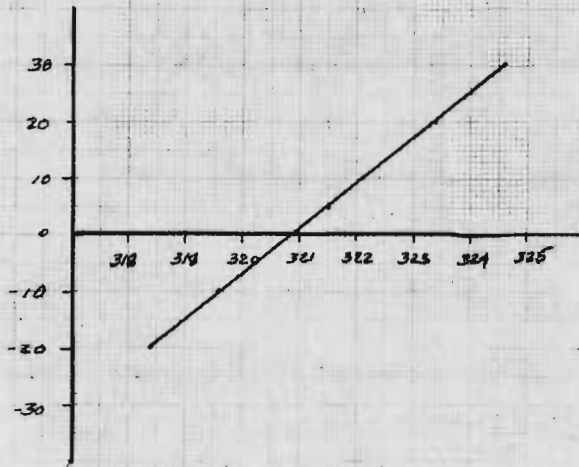
Tasa de interés vs. precio al costo.



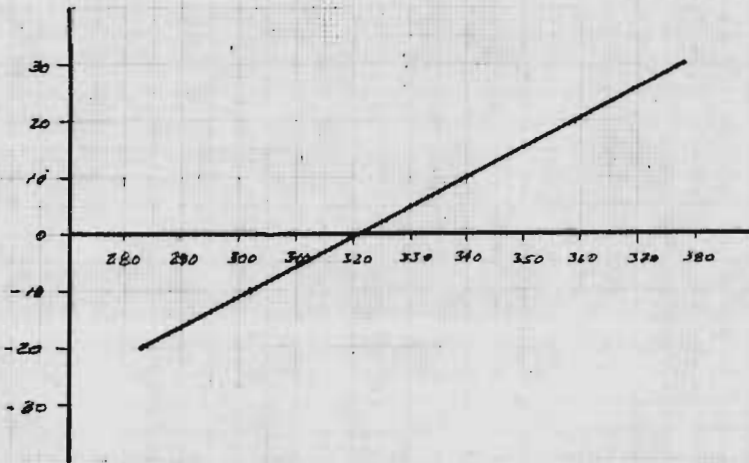
Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.



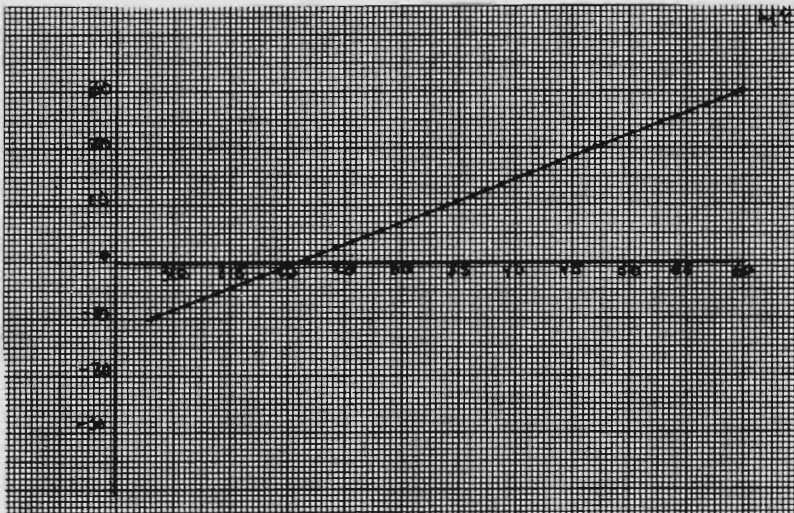
METANOL.



% de costes fijos vs. precio al costo.

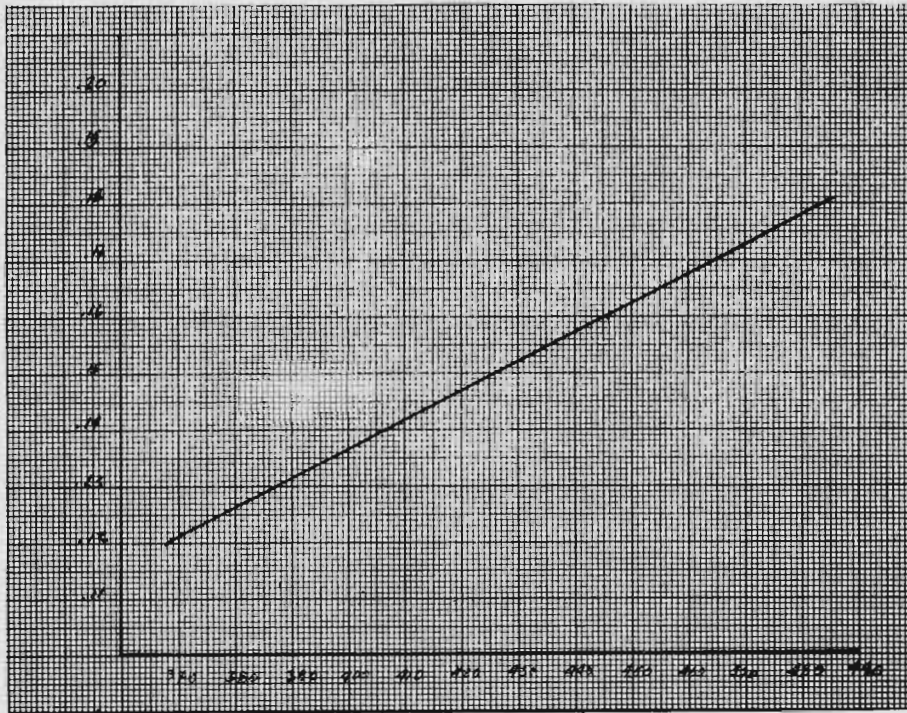


% de costes variables vs. precio al costo.

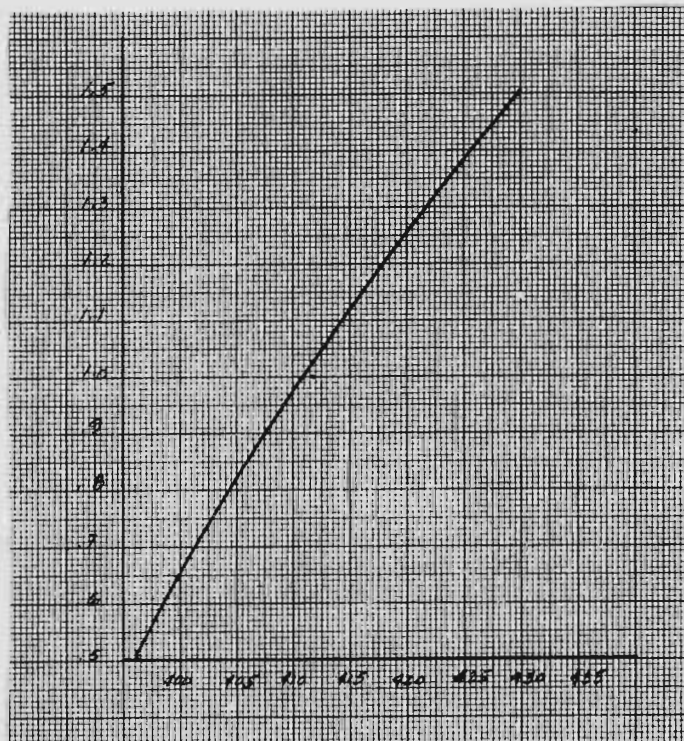


% de costes unitarios de inversión vs. precio al costo.

OXIDO DE ETILENO.

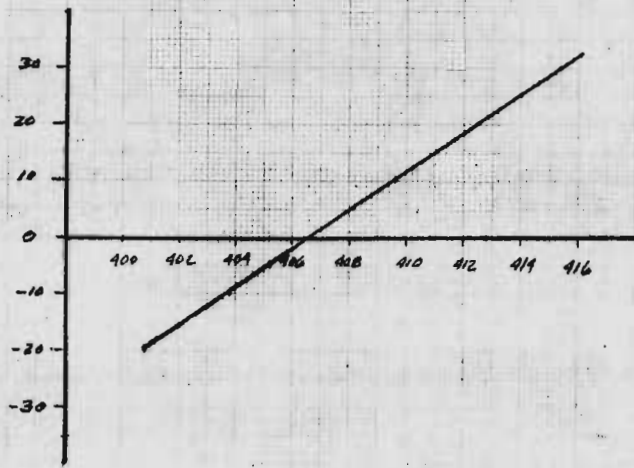


Tasa de interés vs. precio al costo.

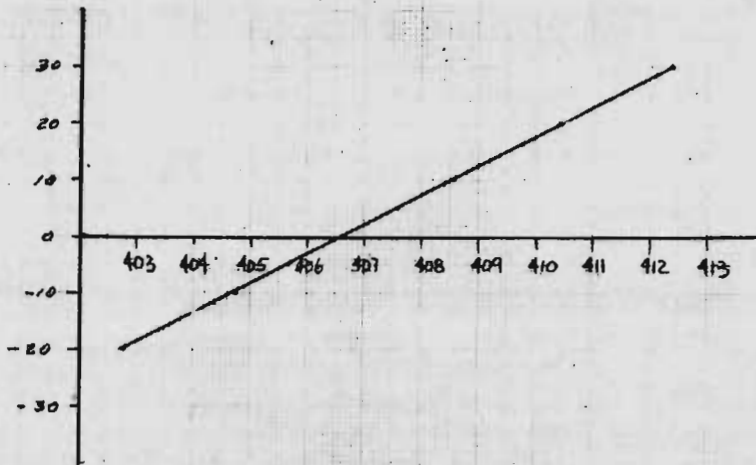


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

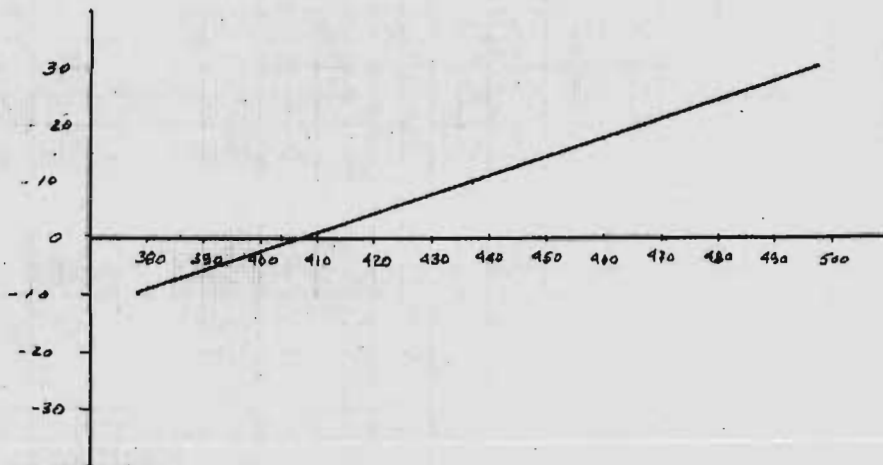
OXIDO DE ETILENO.



% de costes fijos vs. precio al costo.

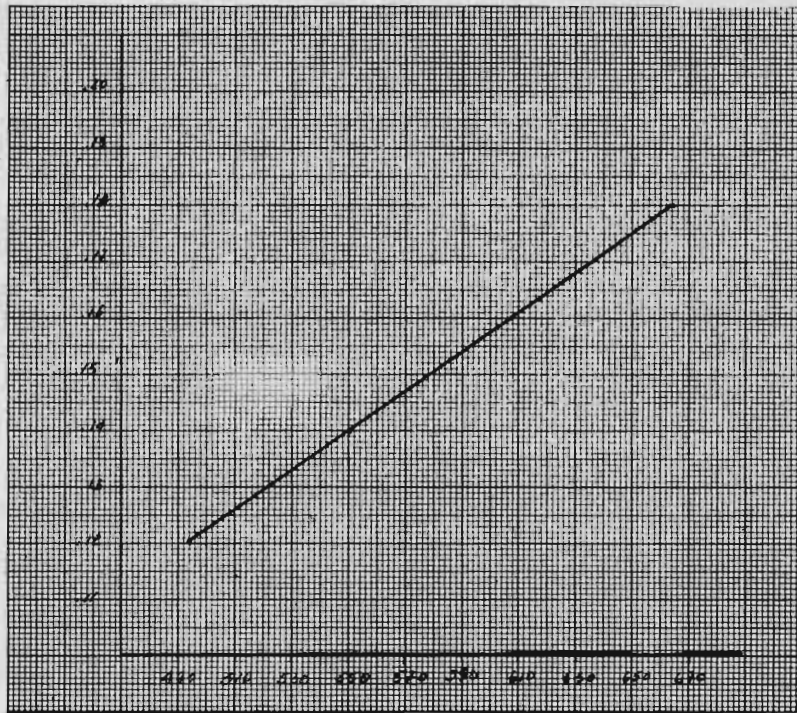


% de costes variables vs. precio al costo.

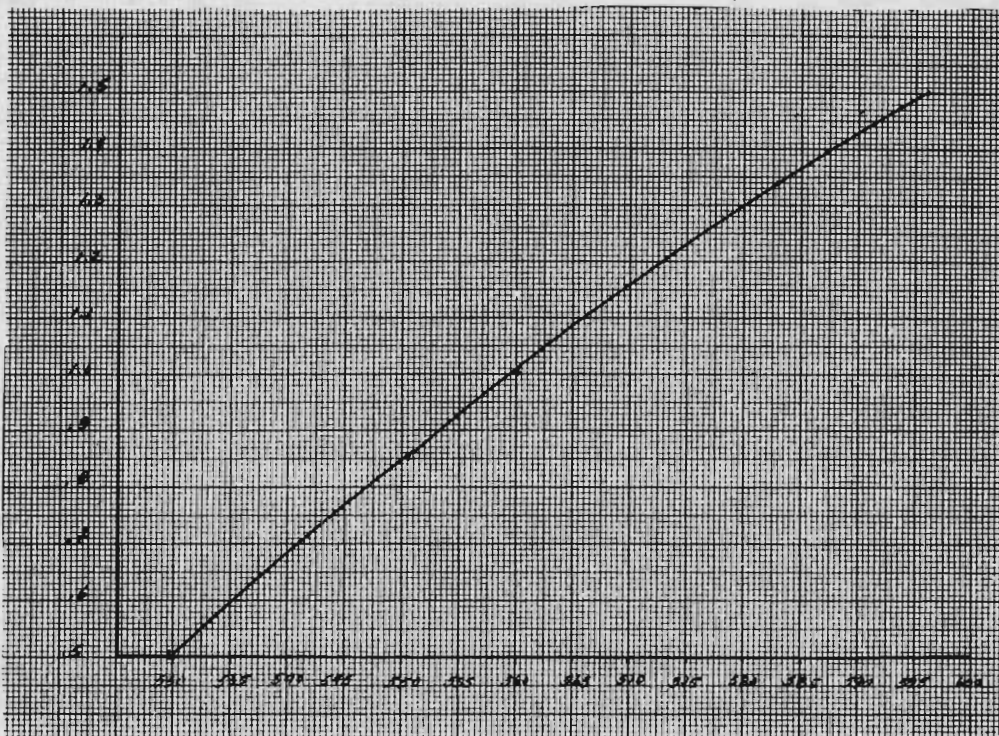


% de costes unitarios de inversión vs. precio al costo.

POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.

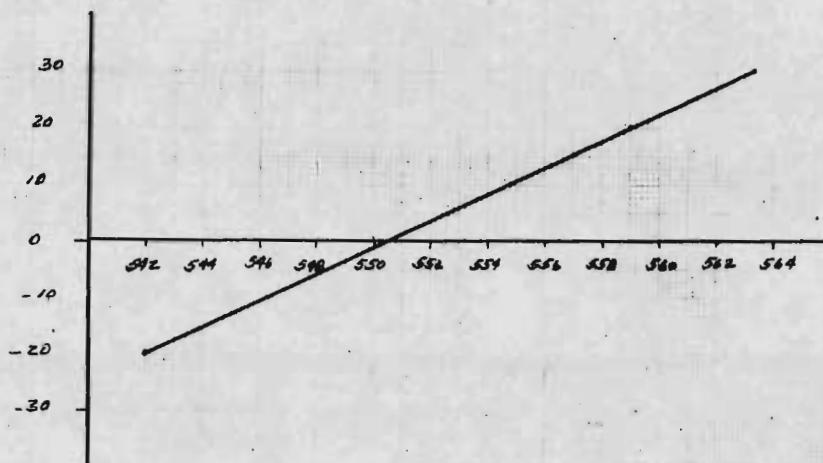


Tasa de interés vs. precio al costo.

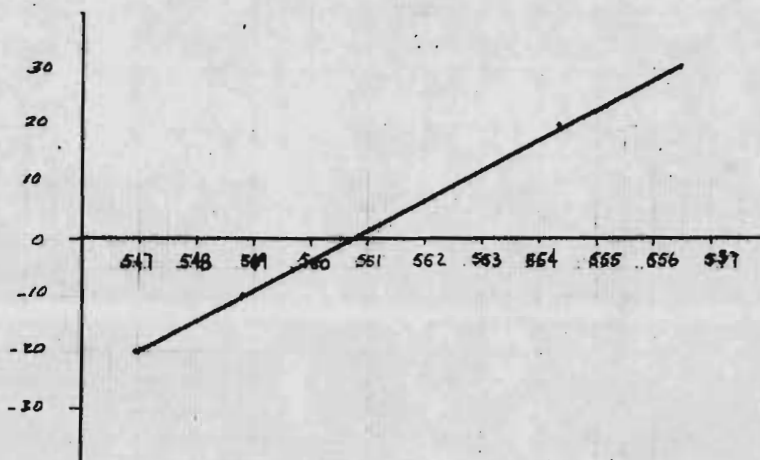


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

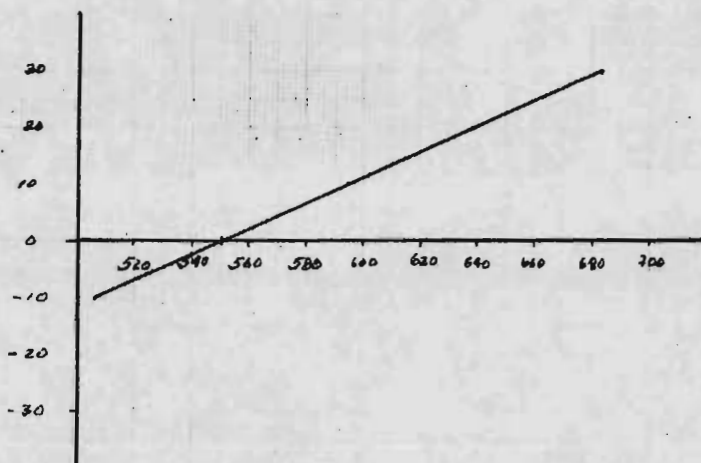
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.



% de costes fijos vs. precio al costo.

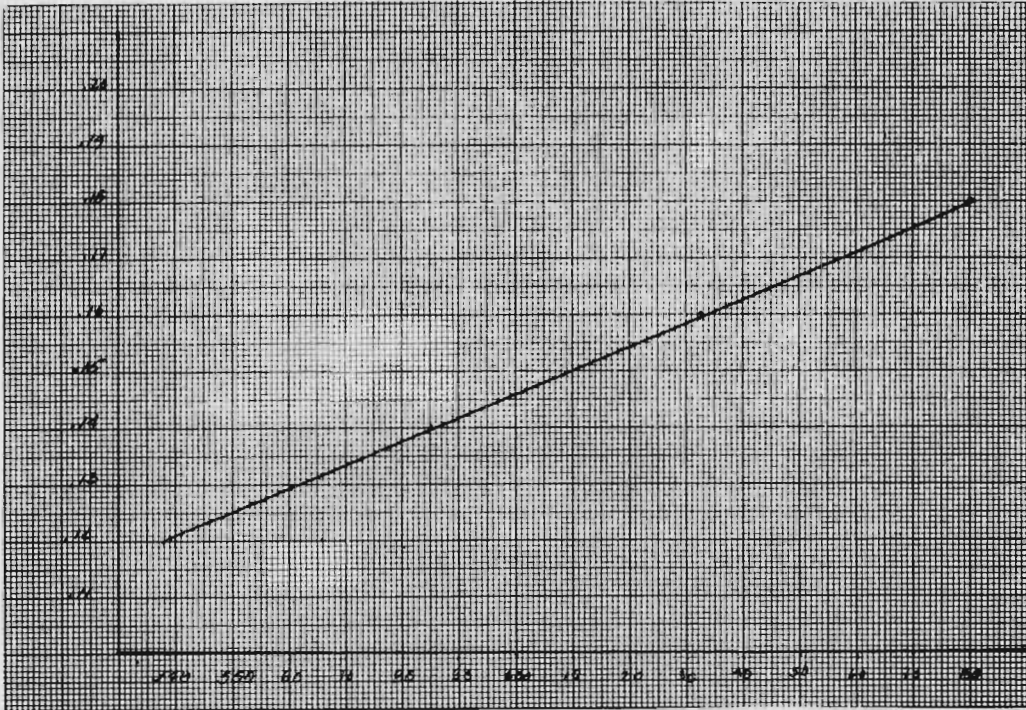


% de costes variables vs. precio al costo.

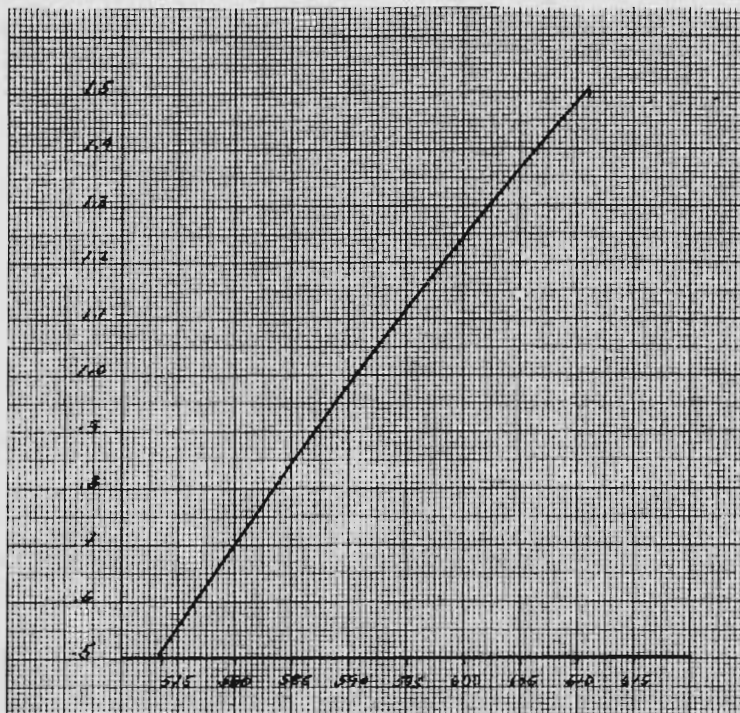


% de costes unitarios de inversión vs. precio al costo.

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

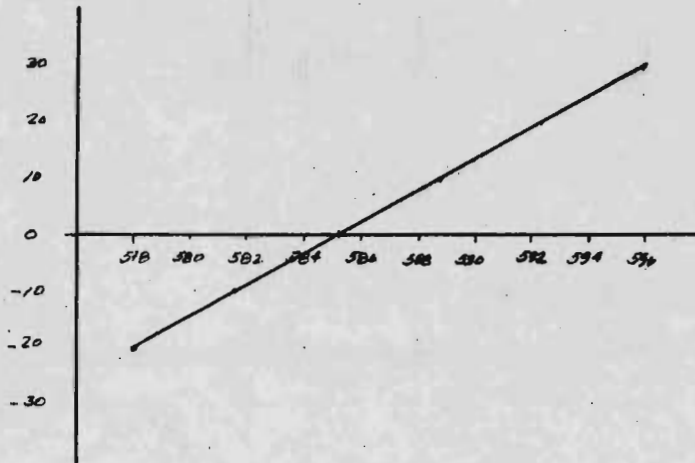


Tasa de interés vs. precio al costo.

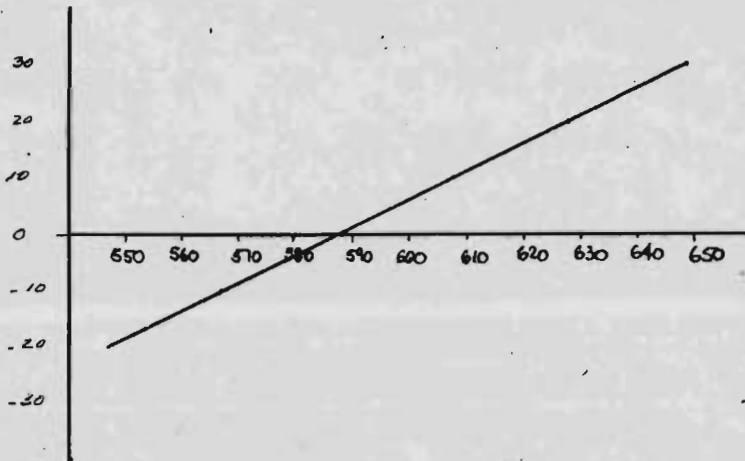


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

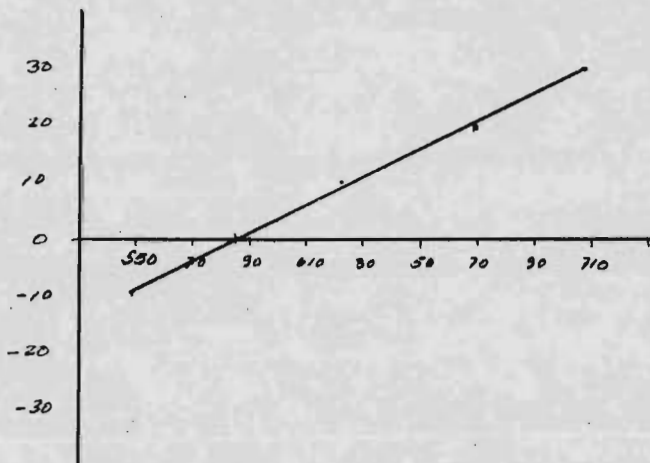
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.



% de costes fijos vs. precio al costo.

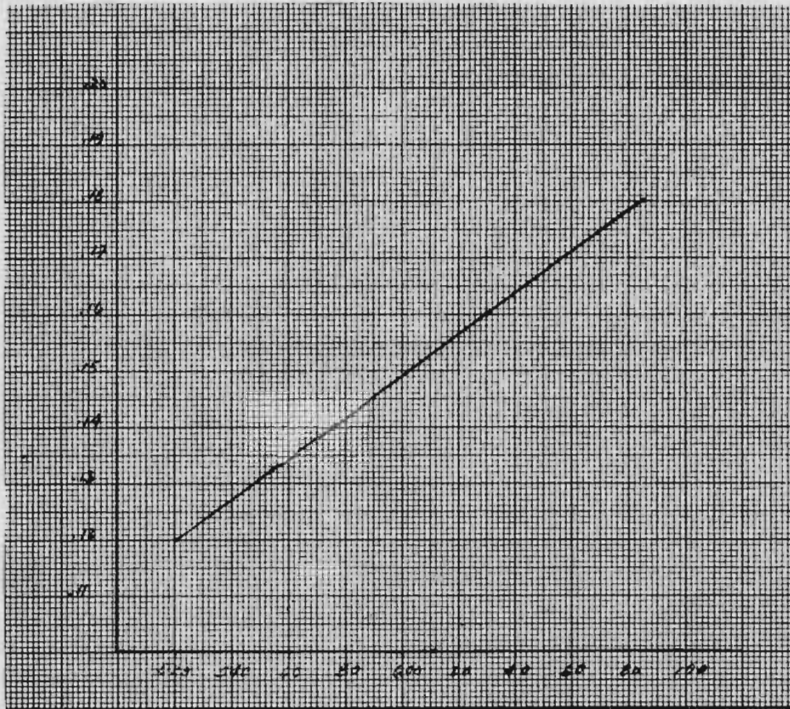


% de costos variables vs. precio al costo.

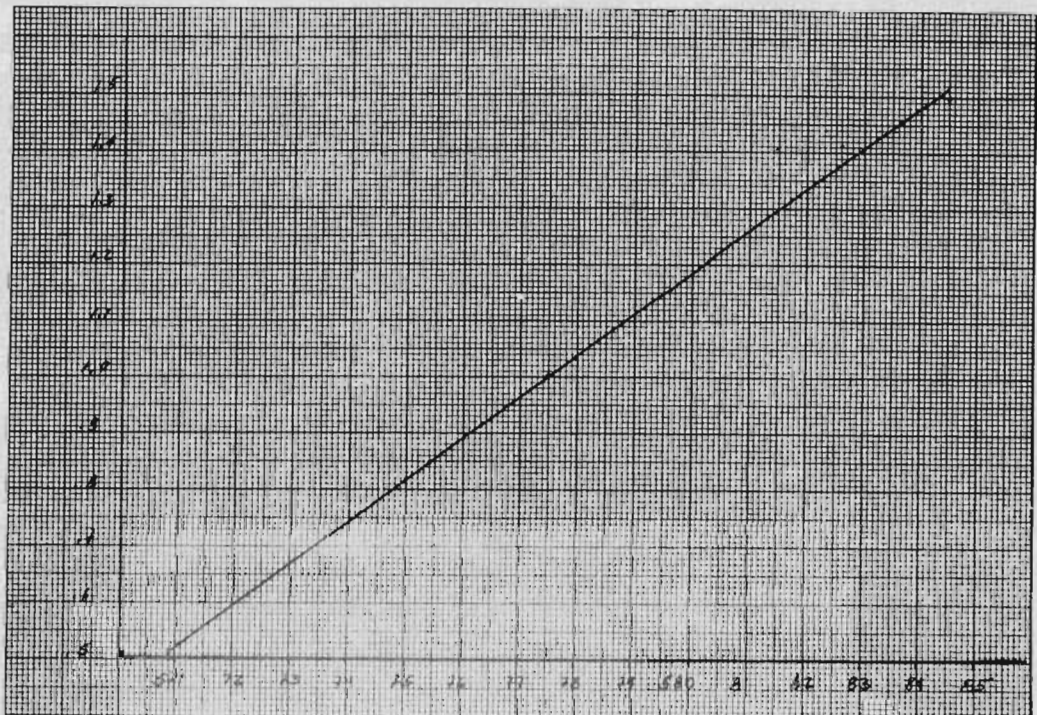


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

POLIPROPILENO.



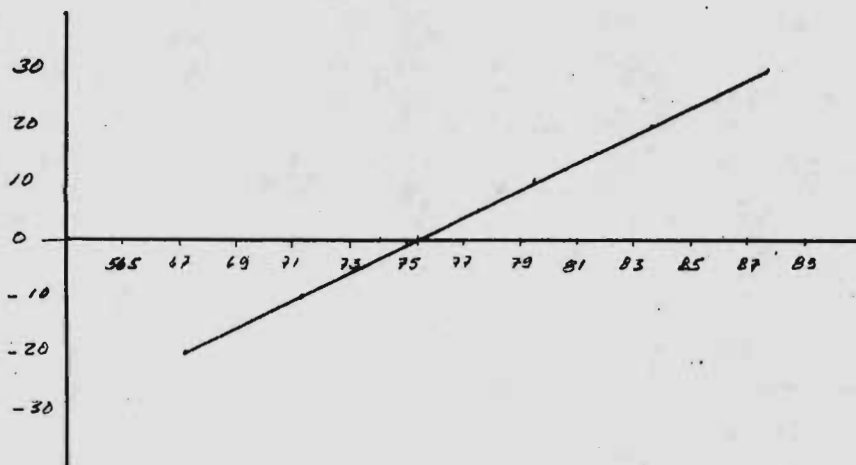
Tasa de interés vs. precio al costo.



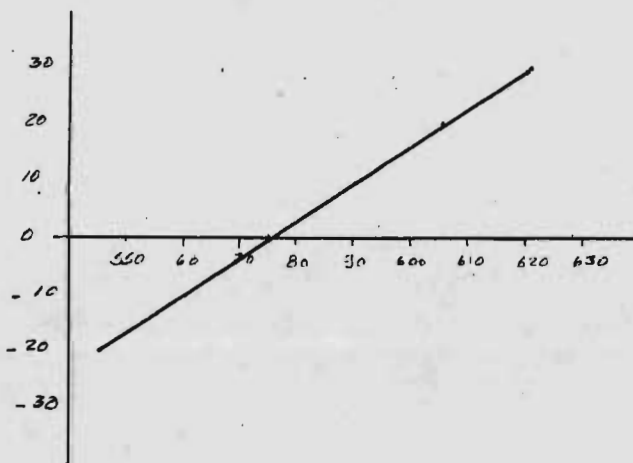
Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.



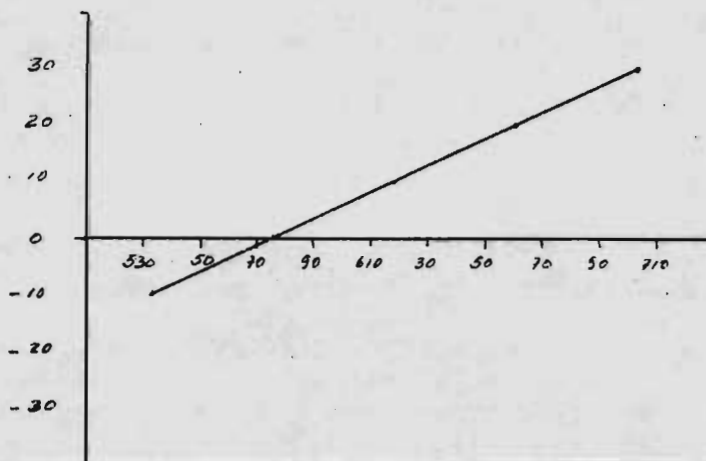
POLIPROPILENO.



% de costos fijos vs. precio al costo.

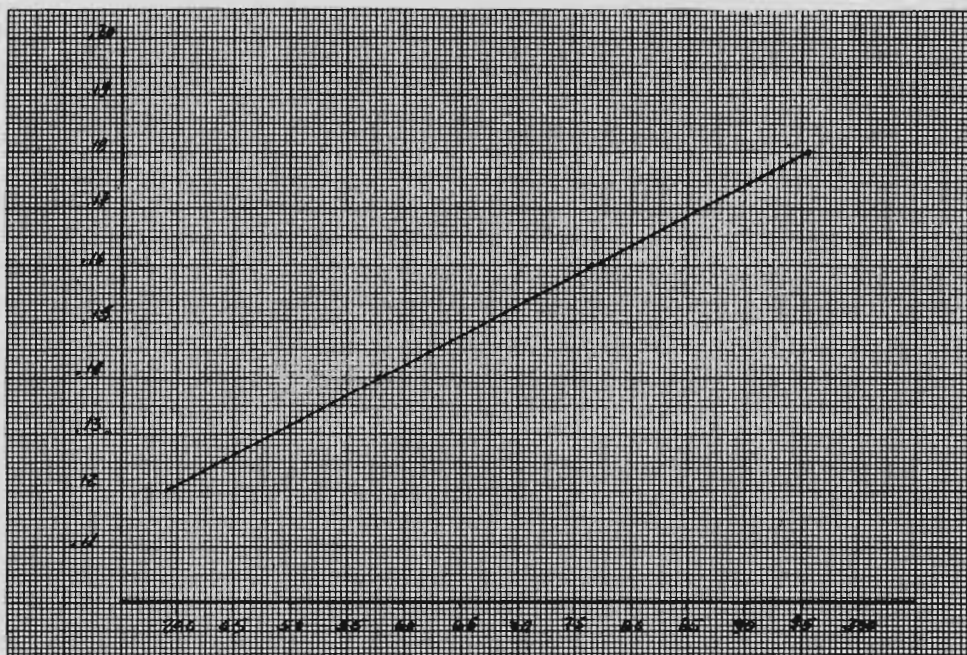


% de costos variables vs. precio al costo.

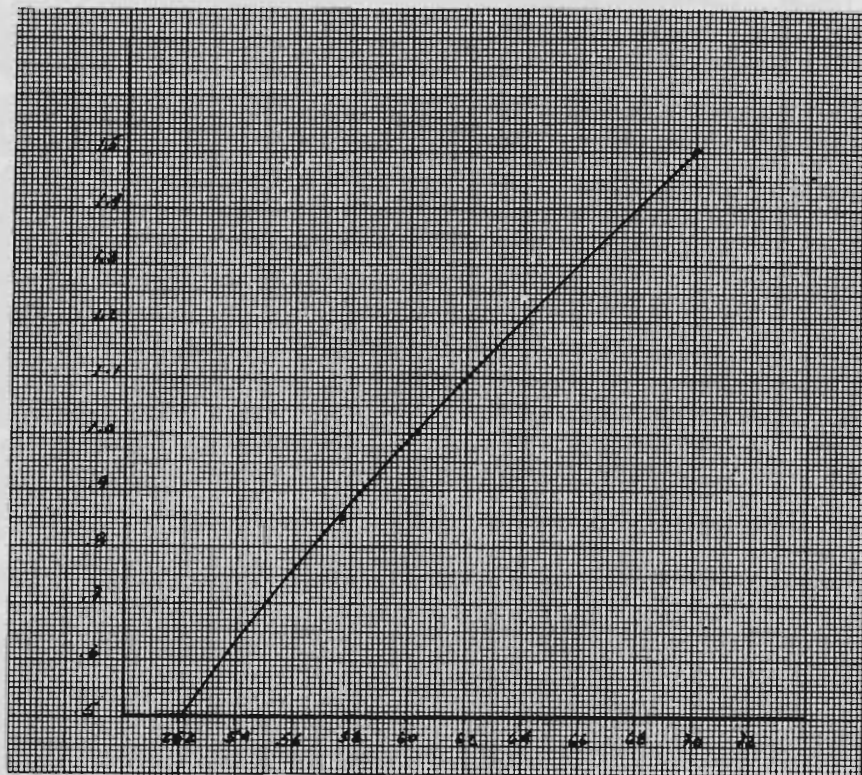


% de costos unitarios de inversión vs. precio al costo.

DICLOROETANO.

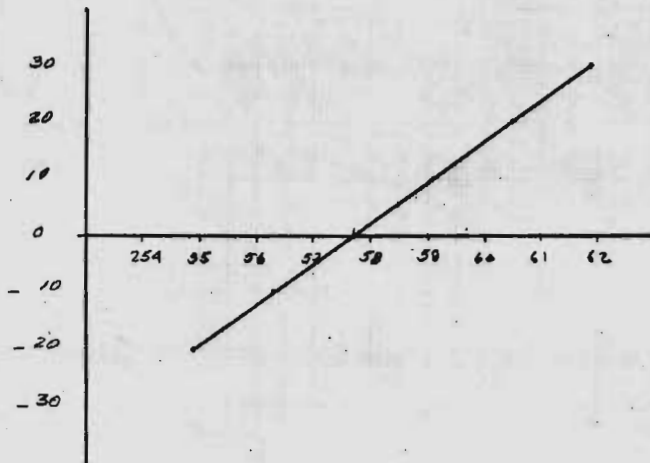


Tasa de interés vs. precio al costo.

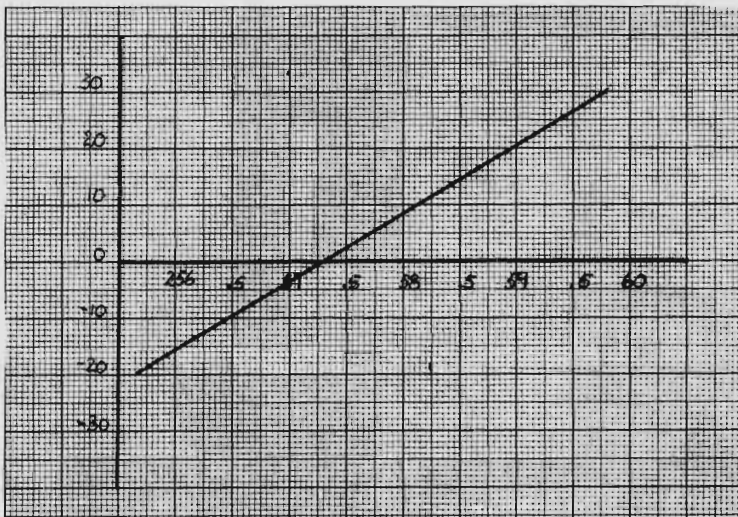


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

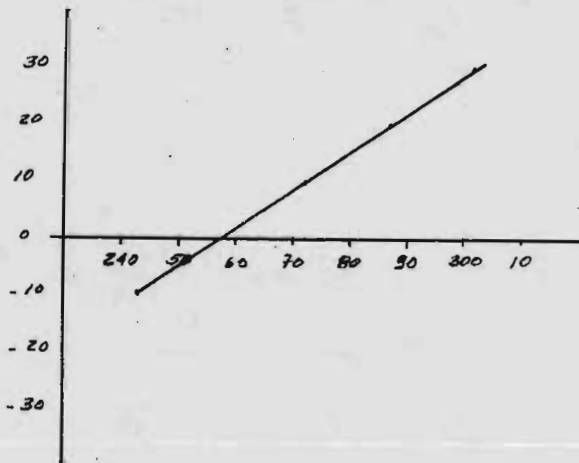
DICLOROETANO.



% de costos fijos vs. precio al coste.

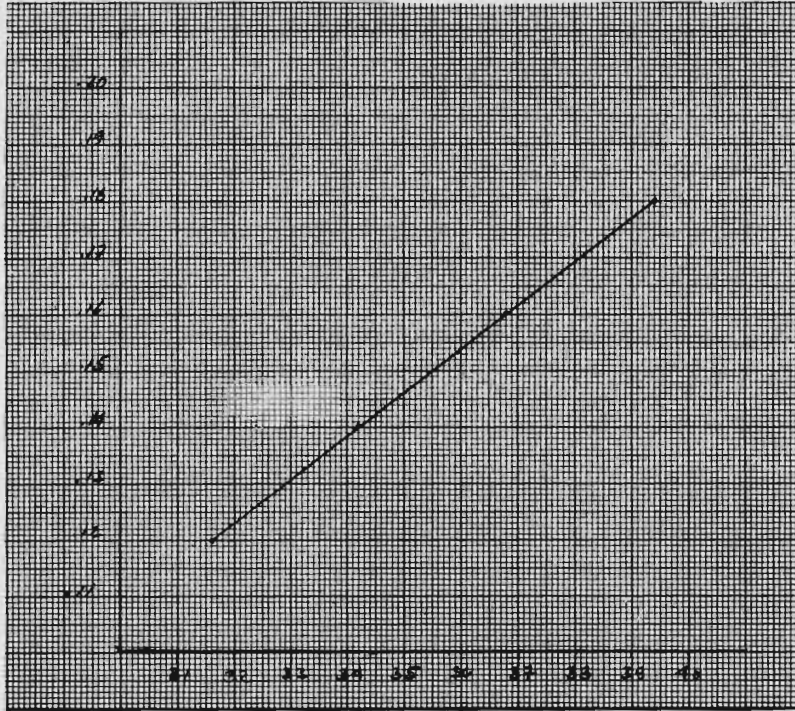


% de costos variables vs. precio al coste.

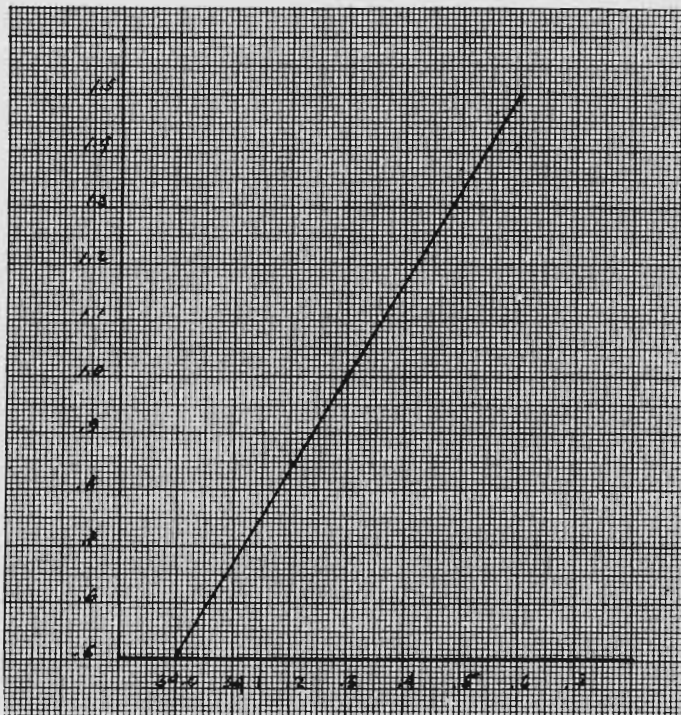


% de costos unitarios de inversión vs. precio al coste.

METANO.

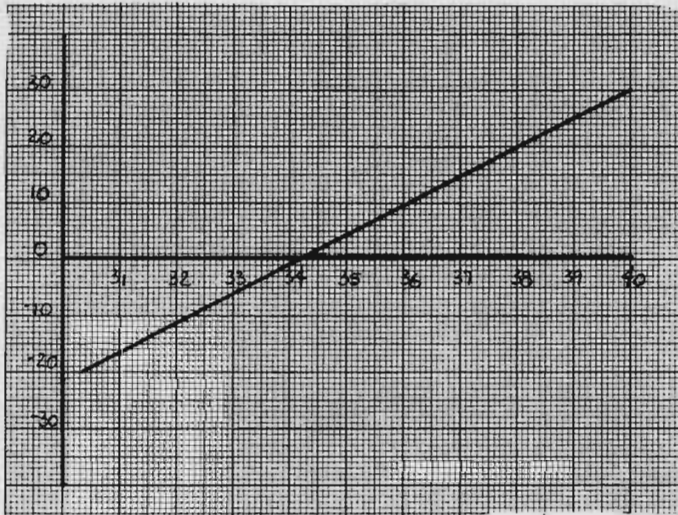


Tasa de interés vs. precio al costo.

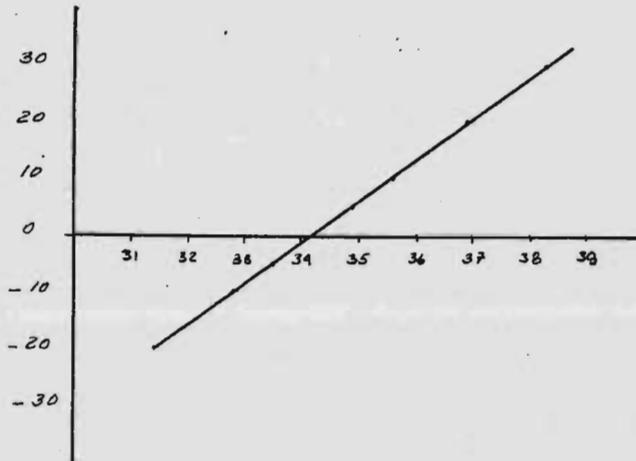


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

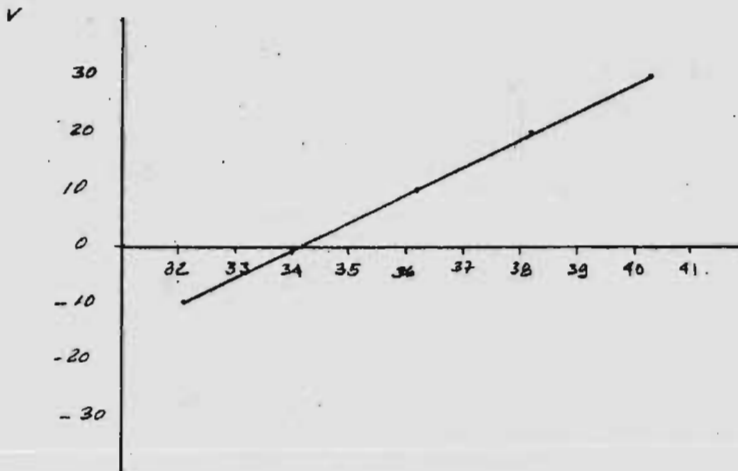
METANO.



% de costes fijos vs. precio al costo.

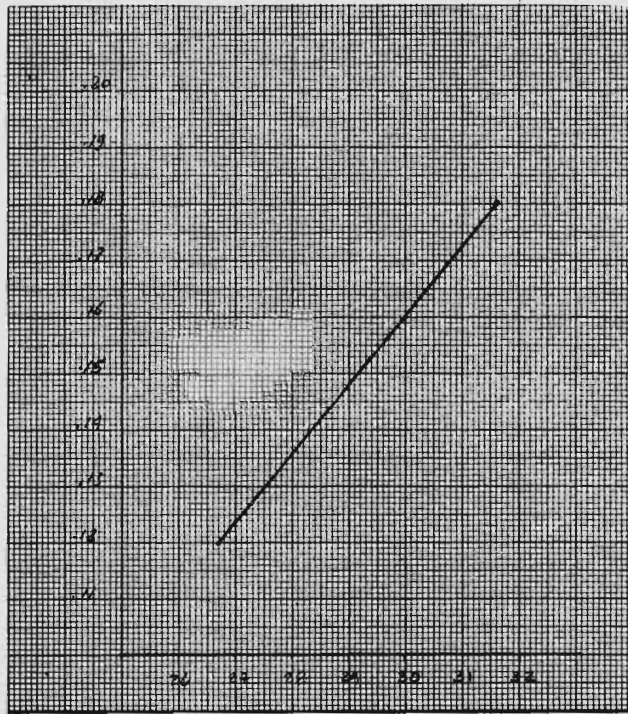


% de costes variables vs. precio al costo.

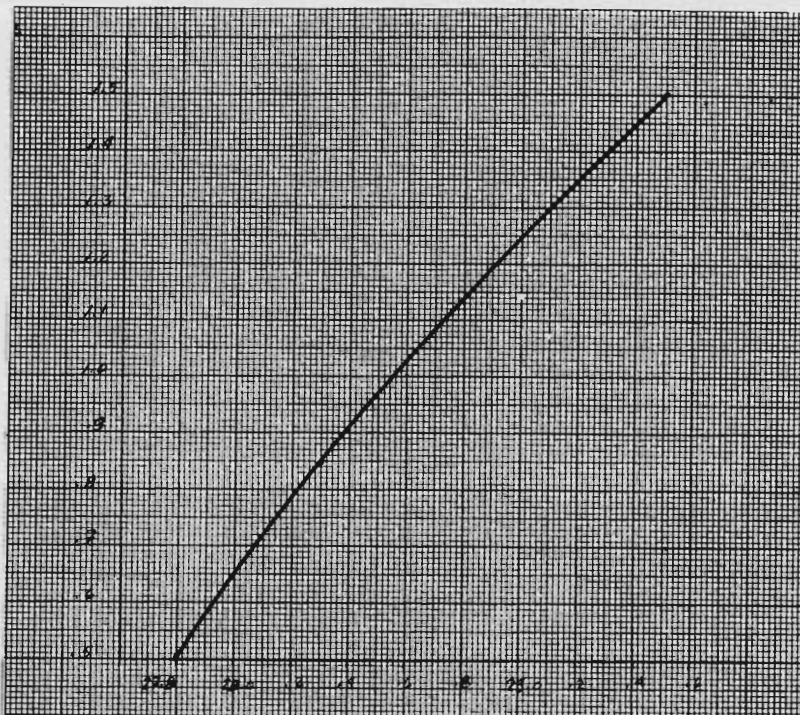


% de costes unitarios de inversión vs. precio al costo.

ETANO.

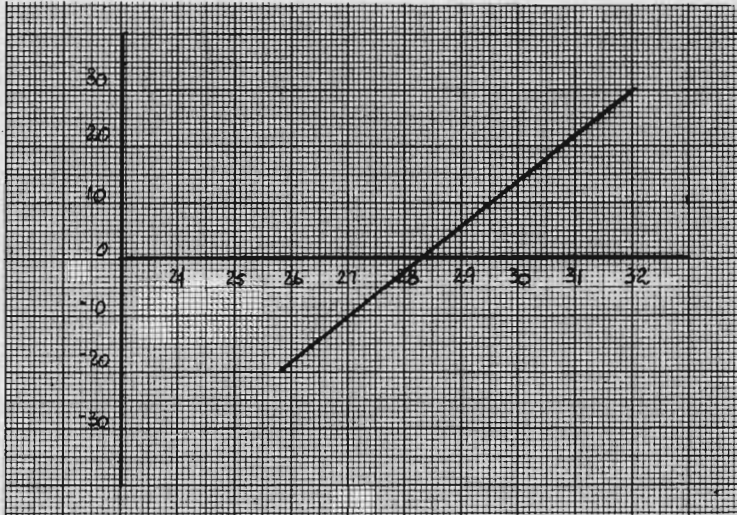


Tasa de interés vs. precio al costo.

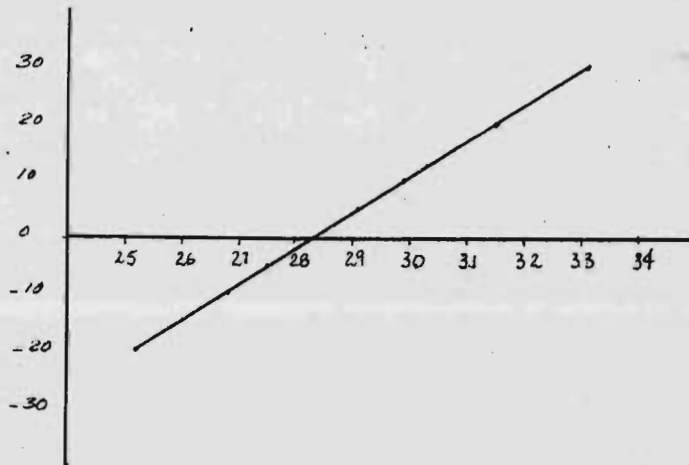


Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.

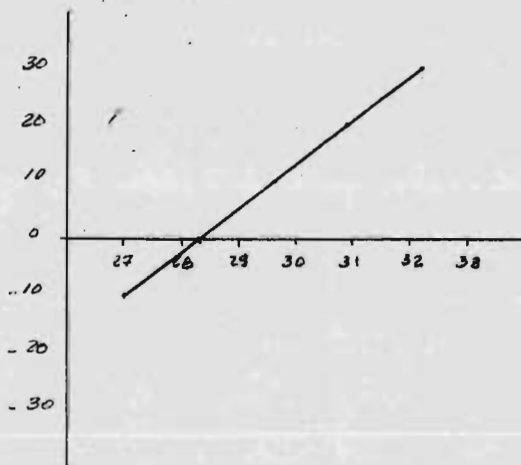
ETANO.



% de costes fijos vs. precio al coste

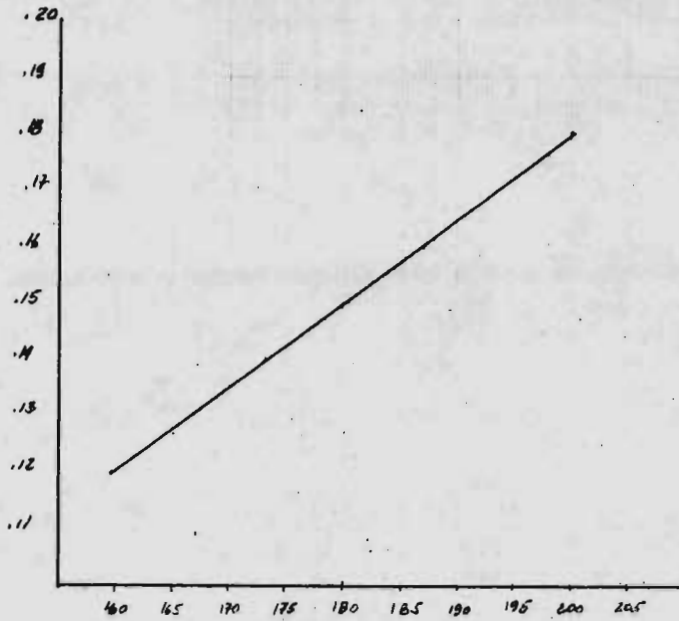


% de costes variables vs. precio al coste.

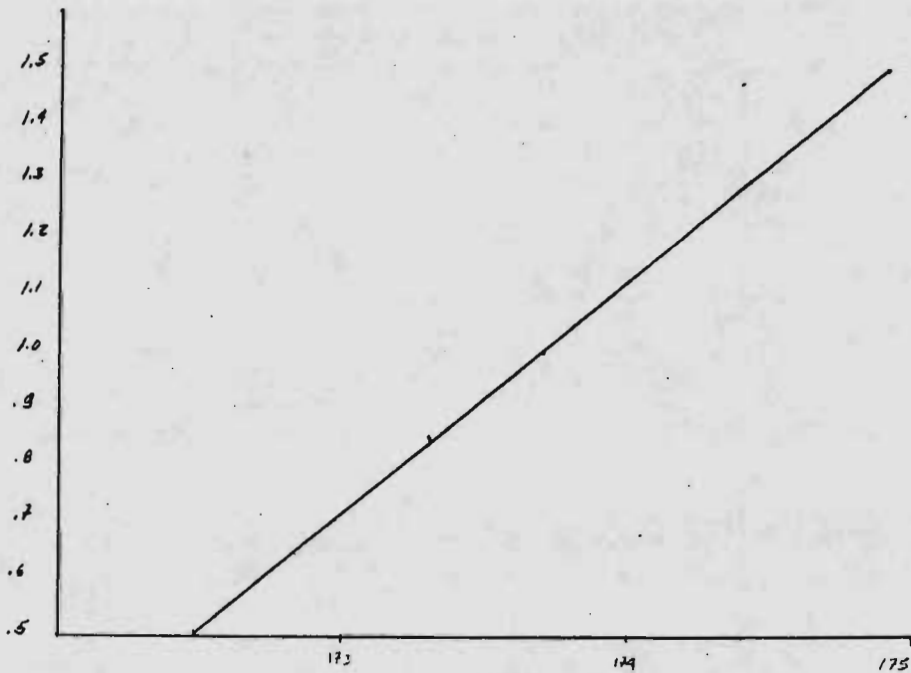


% de costes unitarios de inversión vs. precio al coste.

BUTANO.



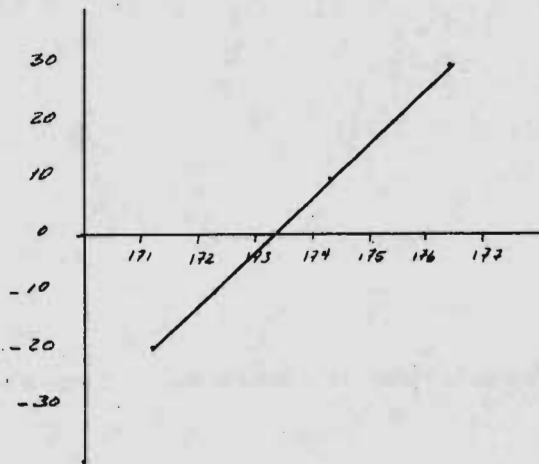
Tasa de interés vs. precio al costo.



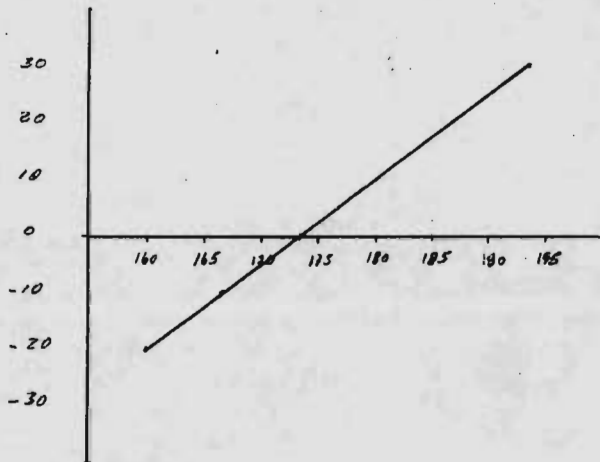
Factor de elasticidad de la demanda vs. precio al costo.



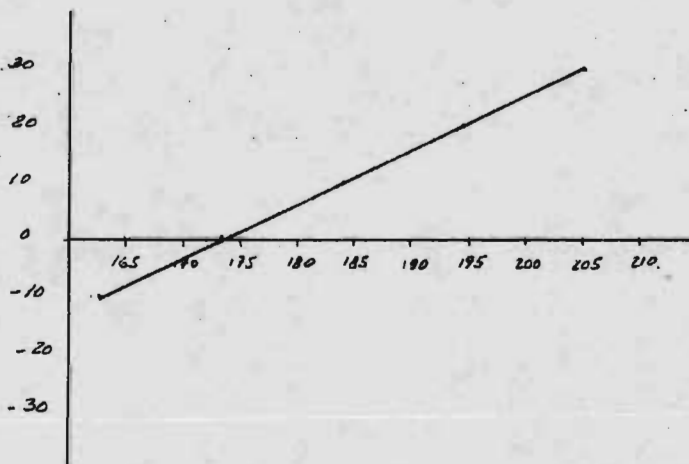
BUTANO.



% de costes fijos vs. precio al coste.



% de costes variables vs. precio al coste.



% de costes unitarios vs. precio al coste.  
de inversión

A N E X O V

Tabla Comparativa de Precios

TABLA COMPARATIVA DE PRECIOS

| PRODUCTO               | PRECIO CALCULADO POR<br>EL PROGRAMA EN DOLARES | PRECIO DE VENTA IN-<br>TERNACIONAL EN DO-<br>LARES |
|------------------------|--|--|
| 1. Benceno             | 122  | 235  |
| 2. Propileno           | 248  | 265  |
| 3. Etileno             | 265  | 264  |
| 4. Acetaldehido        | 242  | 396  |
| 5. Cloro               | 135  | 150  |
| 6. Dodeceno            | 274  | 200  |
| 7. Amoniac             | 38   | 190  |
| 8. Cumeno              | 270  | 319  |
| 9. Anhídrido Carbónico | 46   | 8  |
| 10. Etilbenceno        | 199  | 132  |
| 11. Butadieno          | 276  | 396  |
| 12. V.C.M.             | 464  | 286  |
| 13. Acrilonitrilo      | 504  | 506  |
| 14. Dodecil Benceno    | 402  | 561  |
| 15. Estireno           | 287  | 462  |
| 16. Metanol            | 321  | 142  |
| 17. Oxido de Etileno   | 407  | 594  |
| 18. P.E.B.D.           | 551  | 660  |
| 19. P.E.A.D.           | 585  | 682  |
| 20. Polipropileno      | 575  | 616  |
| 21. Dicloroetano       | 258  | 208  |
| 22. Metano             | 34   | 36   |
| 23. Etano              | 28   | 72   |
| 24. Butano             | 173  | 185  |



**Impresiones Lupita**

MEDICINA No. 25  
FRACC. COPILCO UNIVERSIDAD  
CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.  
TEL. 548-49-79