

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

Conveniencia de la Programación Lineal en la
Determinación de las Capacidades Óptimas de
Producción en una Planta de Esteres

T E S I S
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
FLORENCIO G. GONZALEZ NEGRETE

México, D. F.

1969



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.

A mi Dios



A mi Patria

Y a mis Padres

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE

GERMAN GILASSON ALVITE

VOCAL

NIQUEL A. VARGAS DIAZ

SECRETARIO

ENRIQUE JIMENEZ RUIZ

1er. SUPLENTE

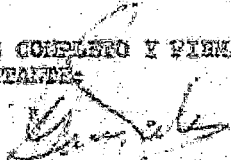
PABLO BARROETA GONZALEZ

2do. SUPLENTE

JULIO F. LARA HIDALGO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE COMPUTACION Y ESTADISTICA.

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL
SUSCRIBANTE:


FLORENCIO G. GONZALEZ NEGRETE

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL
ASESOR DEL TEMA:


ENRIQUE JIMENEZ RUIZ

CONTENIDO:

I. . INTRODUCCION

1. Objetivo del trabajo
2. Resumen breve del mismo

II. . DESCRIPCION DE LAS PLANTAS

1. Generalidades. Productos producidos
2. Procesos de fabricación.

III. . DEMANDA DEL MERCADO

1. Breve estudio del mercado.
 - a. Precio, Especificaciones, Usos

IV. . ANALISIS DE LOS COSTOS Y UTILIDADES.

1. Costos de Producción
2. Gastos Generales
3. Gráficas de punto de equilibrio
4. Determinación de costos unitarios

V. . DETERMINACION DE LAS CAPACIDADES OPTIMAS

1. Resumen y acomodo de los datos necesarios, obtenidos en los capítulos anteriores.
2. Planteamiento de las ecuaciones y de la matriz.
3. Explicación del método a seguir
4. Datos obtenidos de la computadora
5. Interpretación de dichos datos.

VI. . CONCLUSIONES

VII. . BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

En la actualidad, el avance de la ciencia, en su rama de las Matemáticas, ha dado a conocer una serie de técnicas que ha reunido bajo el nombre de Investigación de Operaciones, las cuales pueden aplicarse a la resolución de problemas dentro de cualquier campo por variado que este parezca tal como el militar, administración, negocios, Ingeniería, asuntos gubernamentales, planeación, investigación y otros. Una de estas técnicas, la más empleada por sus aplicaciones dentro de la Industria, es la "programación lineal".

Un "programa lineal" es la representación matemática ó modelo matemático de un fenómeno ó problema real por medio de relaciones lineales exclusivamente, en donde interviene un cierto número de variables que solo tienen significado cuando son positivas ó nulas. Estas relaciones lineales que ligán entre sí a todas las variables de nuestro problema, reciben el nombre de "restricciones" las cuales pue

den ser ecuaciones ó desigualdades simultáneas y son las que enmarcan al conjunto de soluciones posibles a nuestro problema; precisamente, debido a esto, es necesario que exista una función lineal también, de todas las variables del fenómeno ó problema que exprese el objetivo deseado y que constituya la función económica ó función objetivo, la cual nos dará la pauta en el sentido de encontrar la MEJOR solución, es decir la óptima, ya sea maximizándola o minimizándola según sea el caso.

Es nuestro propósito, el aplicar un programa lineal en un problema cotidiano de la industria, como es programar de la manera más adecuada las producciones de una planta con el fin de reducir o minimizar los costos y así subir las utilidades de la misma. Hasta hace algunos años y todavía se presentan los casos en que la programación de la producción, se hacía de una forma empírica y sólo con la garantía de la experiencia de algunos directores que a través de los años y de las estadísticas decidían más o menos seguros cuáles serían las capacidades adecuadas; en la actualidad por medio de la programación lineal y

de otras técnicas como pueden ser los modelos probabilísticos que involucren Teoría de líneas de Espera, control de inventarios y modelos de mantenimiento y de reemplazo, se pueden llegar a programar y de terminar las producciones mensuales que harán mínimos los costos y cuya venta rendirá una mayor utilidad teniendo además la seguridad de que no habrá otra solución mejor. Expandremos de una manera teórica el modelo matemático que emplearemos, con las consideraciones pertinentes debidas a las características propias de proceso y de las plantas que son objeto de nuestro estudio.

El problema se plantea en el momento en que se dispone de dos plantas una grande y otra pequeña, en las cuales se pueden hacer tres productos diferentes en la grande, y dos en la chica con algunas modificaciones de poca importancia y que solo emplean unas horas para cambiar de un producto a otro. Esto acarrea la problemática de decidir qué productos se hacen en la una y en la otra, de manera que se satisfagan todas las restricciones como son: Las demandas, la disponibilidad de materia prima y se minimicen los costos.

Los productos que pueden hacerse son los Acetato de Etilo, Acetato de Butilo y Acetato de Isopropilo en la planta grande y Acetato de Etilo y de Isopropilo en la pequeña. En la tabla siguiente se representa la nomenclatura o correspondencia entre los diferentes productos en las diferentes plantas.

Producto:	Planta G 1	Planta G 2
1 Ac de Et	X11	X12
2 Ac de Isop	X21	X22
3 Ac de Bu	X31	0

En general X_{ij} = Cantidad producida del producto i en la planta j (mensual)

Nuestra función objetivo será de acuerdo con lo dicho anteriormente:

$$Z = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{21}X_{21} + C_{22}X_{22} + C_{31}X_{31}$$

En donde C_{ij} = Costo del producto i en la planta j
 Sujeta a las restricciones siguientes:

10. Demandas

$X11+X12 \geq D11$ Demanda de acetato de Etilo en el mes 1

$X21+X22 \geq D21$ Demanda de acetato de Isopropilo

$X31 \geq D31$ Demanda de acetato de Butilo

Esto quiere decir que las cantidades producidas deben de ser cuando menos igual a las demandas, es decir que la producción sea mayor o igual a lo que se necesita. Esta demanda puede variar por mes de acuerdo con las ventas esperadas, por ello para programar otro mes solo será necesario variar dicha demanda.

20. Capacidades de producción

$X11 \leq K11$

$X12 \leq K12$

$X21 \leq K21$

$X22 \leq K22$

$X31 \leq K31$

K_{ij} = Capacidad de producción del producto i en la planta j

Lo cual significa que el ~~valor a la cantidad que~~

deba producir la solución óptima debe de ser igual o menor a la capacidad real de producción de la plantas

3a. Disponibilidad de materias primas

$$We1 \times 11 + We2 \times 12 \leq R$$

$$Wi1 \times 21 + Wi2 \times 22 \leq 1$$

$$Wb1 \times 31 \leq B$$

$$We1 \times 11 + We2 \times 12 + Wi1 \times 21 + Wi2 \times 22 + Wb1 \times 31 \leq Acac$$

Esta serie de restricciones las consideramos importantes por que resumen una serie de condiciones propias de los procesos. Estas son las eficiencias de cada planta y las pérdidas de material por arranques, pases y cambios de proceso dentro de una misma instalación.

$We1$ = Cantidad de etanol necesaria para producir un kilo de acetato de etilo en la planta grande.

W_{e2} = Cantidad de etanol necesaria para producir un kilo de acetato de etilo en la planta chica.

W_{i1} = Cantidad de isopropanol necesaria para producir un kilo de acetato de isopropilo en la planta grande.

W_{i2} = Cantidad de isopropanol necesaria para producir un kilo de acetato de isopropilo en la planta chica.

W_{b1} = Cantidad de butanol necesaria para producir un kilo de acetato de butilo en la planta grande.

W_{a1} = Cantidad de ácido acético necesaria para producir un kilo de acetato de etilo en la planta grande.

W_{a2} = Cantidad de ácido acético necesaria para producir un kilo de acetato de etilo en la planta chica.

W_{a1} = Cantidad de ácido acético necesaria para producir un kilo de acetato de isopropilo en la planta grande.

$wa2$ = Cantidad de ácido acético necesaria para producir un kilo de acetato de isopropilo en la planta chica.

$Wa1$ = Cantidad de ácido acético necesaria para producir un kilo de acetato de butilo en la planta grande.

4o. Producciones mínimas de acuerdo con la gráfica del punto de equilibrio.

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} \geq P_{min1}$$

$$X_{12} + X_{22} \geq P_{min2}$$

Lo cual quiere decir que las producciones de cada planta deben ser mayores a cierta producción mínima de acuerdo con la gráfica y el punto de equilibrio; ya que una producción menor a estas acarrearía pérdidas para la empresa.

5o. Restricción de tiempo

Estas son debidas a que el tiempo que hemos fijado para programar es de un mes y esto involu-

era que las producciones de los productos que se hacen en cada planta deben de hacerse durante ese período de tiempo, como máximo.

$$\frac{X_{12}}{6300} \frac{\text{Kg}}{\text{día}} + \frac{X_{22}}{6900} \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \leq 28 \text{ días}$$

$$\frac{X_{13}}{12000} + \frac{X_{21}}{12300} + \frac{X_{31}}{10500} \leq 27 \text{ días}$$

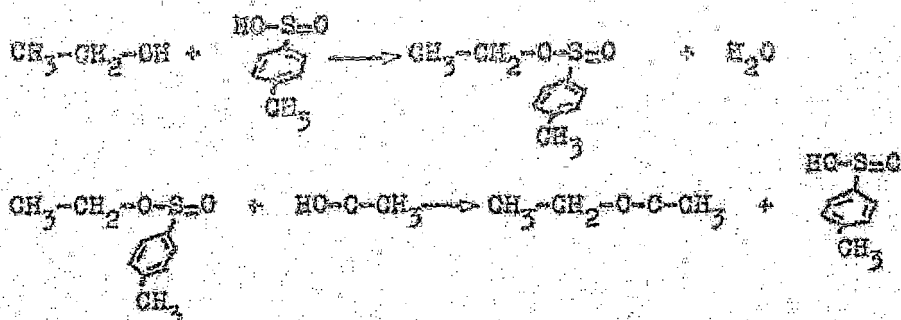
Consideramos 28 días en la planta P-2 porque suponemos un cambio de un producto a otro y damos margen a un día más de mantenimiento. En la planta G1 consideramos dos cambios y un día más también de mantenimiento.

De esta manera definimos el modelo matemático a resolver, una vez que los coeficientes de las variables de todo el sistema se hayan determinado, lo cual será objeto de los capítulos siguientes.

II. DESALFONACION DE LAS CELULOSAS

1- Generalidades:

Los productos que trataremos son ésteres derivados del ácido acético, catalizados con ácido sulfúrico o un derivado orgánico de éste que conserve sus características ácidas. La reacción ha sido muy estudiada y el mecanismo más probable es:



En donde el catalizador es regenerado. El mismo mecanismo puede asumirse para el Acetato de Butilo y de Isopropilo. Esta es la la. semejanza entre los procesos, de la cual se deriva que pueda emplearse un mismo catalizador para las tres reacciones. La experiencia ha demostrado que la cantidad necesaria de catalizador es el 1-2% con respecto al total de los reactivos.

2- Procesos de Fabricación

Los procesos de fabricación de los tres acetatos son muy semejantes; en los tres se alimenta la mezcla de reactivos al reactor en fase líquida, allí reaccionan y por medio de calentamiento se evapora una mezcla azeotrópica terciaria de Acetato-Alcohol-Agua con algo de ácido y es por esta razón por lo que se hace pasar la mezcla por una torre empacada y/o de platos, llamada "torre de esterificación", en donde se termina la reacción y se logra eliminar la acidez, obteniéndose como producto de esta columna el azeótropo terciario. De aquí en adelante el proceso se dedica a separar el Acetato hasta obtenerlo con una pureza de 99-99 - 100.00% y también como en los pasos anteriores es muy semejante para los tres acetatos. El proceso de purificación consiste en:

1o. Romper el azeótropo terciario. Esto se hace por decantación; en algunos como el acetato de Etilo es necesario agregar algo de agua a dicho azeótropo, para que decante y logre por este medio separar en dos capas, una orgánica y otra acuosa y en otro caso como el acetato de Butilo, lleva sufi-

ciente agua el azeótropo, para decantar por sí solo. De esta manera se tienen dos capas, la orgánica que contiene una mayoría de Acetato (89-94%) y la demás de Alcohol (5%) y agua (4%), y la acuosa que contiene 90-95% de agua y el resto de alcohol (6-5%) y acetato (1-3%) cuyos porcentajes de componentes variarán según el acetato de que se trate.

2o. Recuperación del Alcohol y de Acetato. Del paso anterior vemos la necesidad de recuperar el % de alcohol y acetato de la capa acuosa, esto se hace por medio de columnas de destilación.

3o. Purificación del Acetato, también por medio de columna de destilación.

Si los tres procesos son semejantes, un mismo equipo podrá ser usado para la elaboración de los tres acetatos, aunque la variación esté en las condiciones de operación. De estas condiciones de operación y otras características que mencionaremos más adelante, nacen algunas diferencias que hacen variar los procesos pero en grados menores como son la alimentación a una

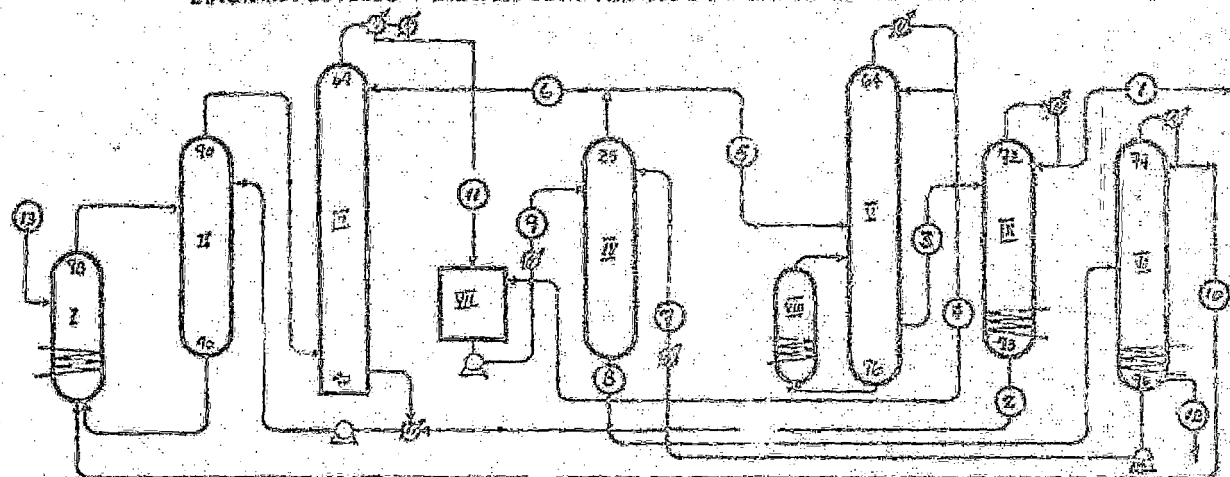
columnas é la extracción del producto por la base é por el domo etc. que son salvadas por conexiones de tuberías, quedando el mismo equipo grande de base, sin va-
riante.

A continuación expondremos brevemente los tres diferentes procesos con sus diagramas de flujo, en los cuales nos basaremos para determinar el balance de materiales para determinar las capacidades de dicho equi-
po.

Hemos de hacer notar que el acetato de Eutilio, no se produce en la planta pequeña, esto es debido a que este proceso es el más ácido y dicha planta tiene dos columnas de cobre en vez de acero inoxidable, además de que los sub-puntos formados en este proceso, son de tal naturaleza que corrompen e incrustan a materiales que no tienen la resistencia del acero inoxidable.

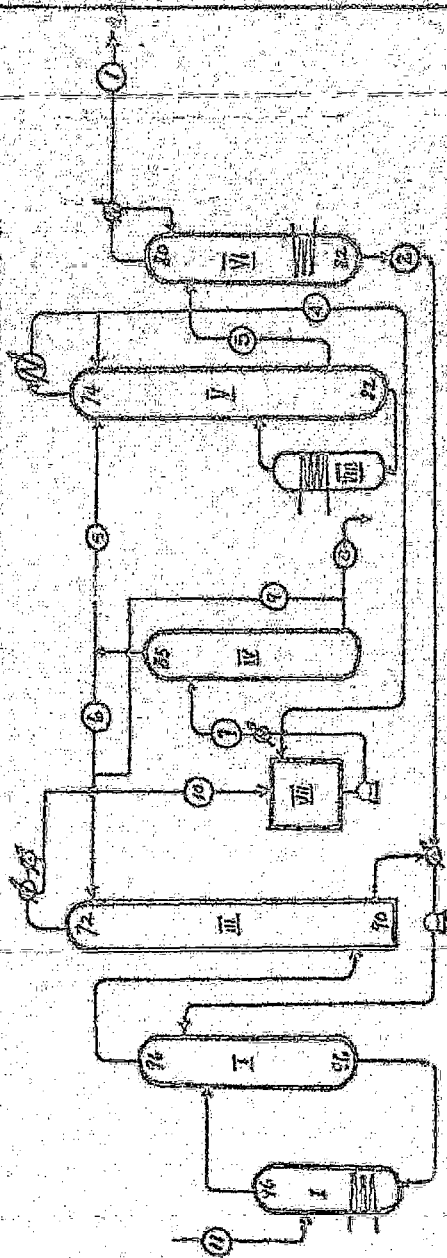
En los diagramas de flujo y balances de materiales se identificarán las corrientes por un número, junto al cual vendrá la composición de dicha corriente y la cantidad en Kg de c/u de los componentes, así como una nota breve de la característica que enmarque al porcentaje de la composición ahí especificada.

DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MATERIALES DEL ACETATO DE ÉTIL EN G-1

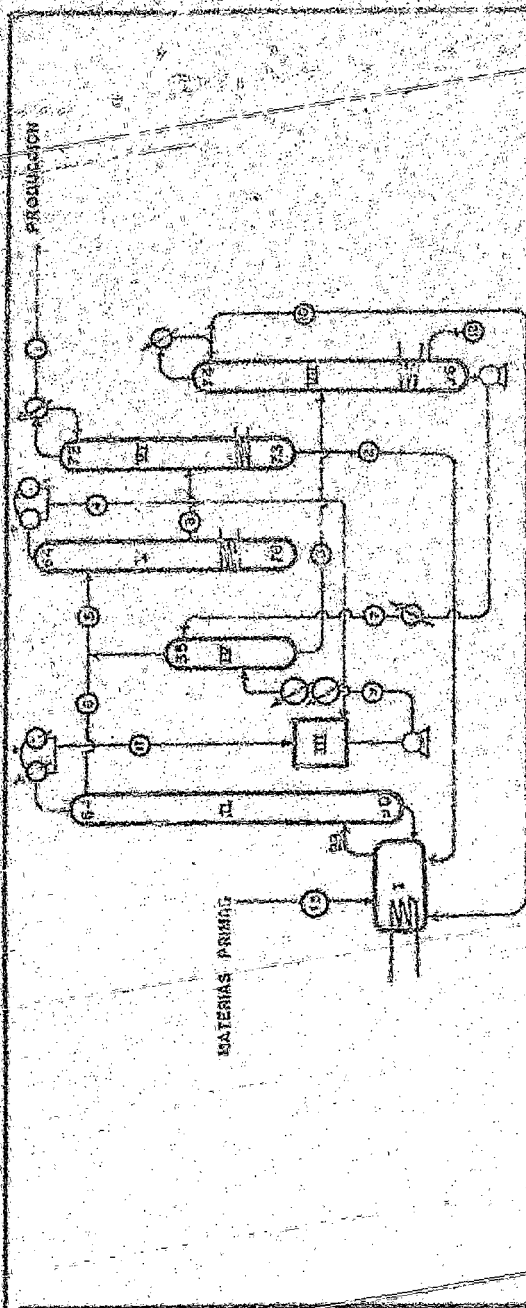


NO.	TOTAL	AcEt	EtOH	H2O	% AcEt	% EtOH	% H2O	
1	500				100			AcEt
2	24				100			AcEt
3	524				100			AcEt
4	948.5	845.4	29.5	73.6	89.14	3.7	7.26	Azeótropa terciaria rica en H2O
5	1472.5	1369.4	29.5	73.6	93	2.0	5.0	Capa orgánica
6	3117.5	2879.3	62.4	155.8	93	2.0	5.0	Capa orgánica
7	558.8	5.6	5.6	547.6	1	1.0	98.0	H2O
8	746.0	56.7	14.9	674.4	7.6	2.0	90.4	Capa acuosa
9	4777.2	4319.8	101.2	356.2	90.2	2.3	7.5	
10	61.1	49.9	8.1	3.1	84.6	13.3	5.1	Azeótropa terciaria rica en EtOH
11	3028.7	3474.5	68.9	283.3	90.8	1.8	7.4	Azeótropa terciaria rica en AcEt
12	126.1	1.3	1.3	124.5	1	1.0	98.0	H2O
13	626.1							Reactivos
	839.64							

DIAGRAMA DE FLUIDO Y BALANCE DE MATERIALES DEL ACETATO DE ISOPROPILLO EN G-1

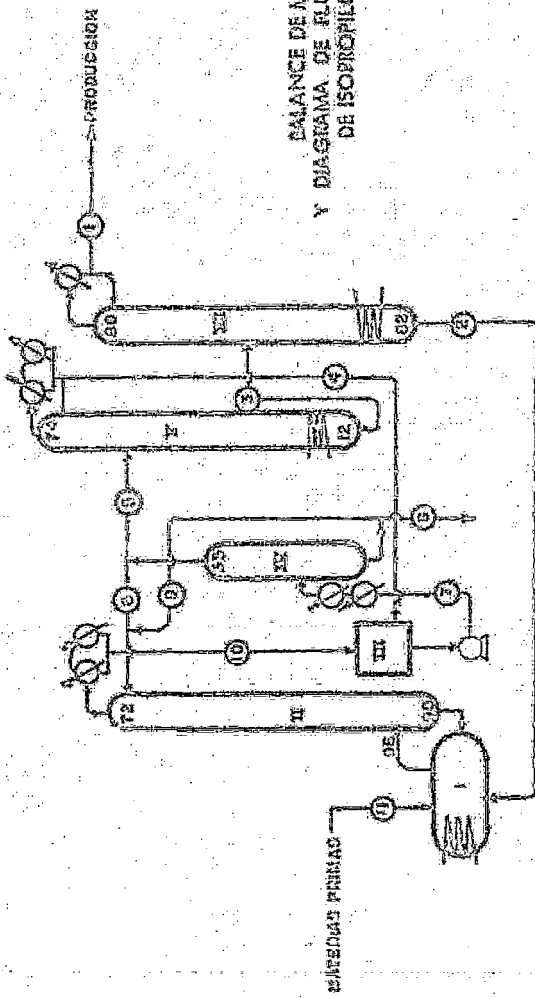


No.	TOTAL	Acids	IsOH	H ₂ O	% Acids	% IsOH	% H ₂ O	Acids
1	512.5	512.5			100			Acids
2	38.3	38.3			100			Acids
3	550.8	550.8			100			Acids
4	550.9	418.7	71.6	60.6	76	13	11	Azeotropo terciario
5	1101.7	949.5	71.6	60.6	88	6.5	5.5	Capa orgánica
6	550.8	454.7	35.8	30.3	88	6.5	5.5	Capa orgánica
7	1318.5	1457.0	126.5	233.0	80.3	6.9	12.8	Capa acuosa
8	60.0	1.7	6.9	51.4	2.9	11.5	85.6	Capa acuosa
9	105.0	3.1	12.2	90.7	2.9	11.5	85.6	Capa acuosa
10	1257.6	1050.3	54.9	172.4	82.1	4.3	13.6	Azeotropo terciario rico en Acids
11	572.5							Residuos
12	638.9							



N	TOTAL	AC	EN	ETOH	H ₂ O	% AC ET	% ETOH	% H ₂ O
1	283.5	282.5				100.00		
2	13.0	12.5				100.00		
3	275.1	275.1				100.00		
4	495.5	444.5	15.5		23.5	88.14	3.1	7.75
5	753.0	719.6	15.6		30.5	93.00	2.0	5.00
6	1635.7	1520.0	32.5		81.5	93.00	2.0	5.00
7	832.5	29	2.5		282.7	1.00	1.0	98.00
8	391.5	25.5	7.5		394.1	7.50	2.0	90.40
9	2507.0	2285.5	53.2		187.5	50.2	2.5	7.5
10	52.5	25.1	4.3		1.5	31.50	13.3	5.1
11	2005.5	1821.8	37.7		149.0	30.90	1.8	7.4
12	53.7	0.5	0.5		55.5	1.00	1.0	99.00
13	325.2							
	331.28							

BALANCE DE MATERIALES
Y DIAGRAMA DE FLUJO DEL ACETATO
DE ETILO EN P-2



BALANCE DE MATERIALES
Y DIAGRAMA DE FLUJO DEL ACETATO
DE ISOPROPIL EN P-2

No	TOTAL	AcISPr	SOH	H ₂ O	CSAcISPr	%I-ON	AcISPr	Ac IS
1	287.5	207.5			100.00			Ac IS
2	21.5	21.5			100.00			Ac IS
3	309.0	309.0			100.00			Ac IS
4	305.0	230.9	50.1	34.0	76.00	13.00	11.0	Acetato de isopropila
5	610.0	543.9	40.1	54.0	88.00	6.00	6.5	Capa Superior
6	309.0	272.0	20.0	10.0	88.00	6.5	6.5	Capa Superior
7	1020.1	918.9	70.9	150.7	80.3	6.8	12.5	Acetato de isopropila
8	53.7	1.0	2.8	28.5	2.9	11.5	95.0	Capa Inferior
9	53.4	1.7	5.8	50.9	2.9	11.5	95.0	Capa Inferior
10	711.1	583.5	30.8	90.7	82.1	4.3	15.5	Acetato de isopropila
11	321.2							Residuo
	548.0							

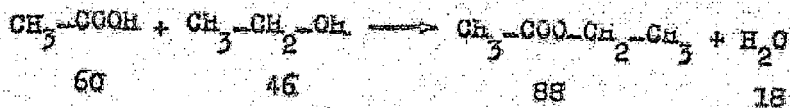
3- Eficiencias

Todo proceso tiene una eficiencia y en nuestro caso vamos a considerar como una media de la misma a la relación de la cantidad de reactivos teóricos necesarios entre la cantidad de reactivos reales usados. Como es natural, la cantidad de reactivos empleados será mayor que la cantidad teórica necesaria debido principalmente a las fugas de material por el equipo y al pequeño porcentaje que se tira por las corrientes que se mandan al caño y cuyo costo de recuperación sería muy alta debido a las características del equipo que se tuviera que comprar para ese efecto. La conversión de la reacción y las características termodinámicas y catalíticas de la misma, no afectan directamente a la eficiencia como podría pensarse debido a que el exceso de reactivos que no reaccionan se recupera en el equipo para ello diseñado en el proceso y se recircula al reactor; precisamente debido a ésta recuperación es por lo que se ve afectada la eficiencia en su segunda parte arriba mencionada. Sin embargo las pérdidas por el equipo son las que afectan mayormente a nuestro proceso.

Para poder determinar las cantidades reales de reactivos consumidos nos basaremos en una serie de datos estadísticos que para ese efecto se tomaron y cuya media nos dará el valor adecuado para esa consideración, ya que se procuró mantener constantes para cada una de las observaciones, todos los factores que afectan a nuestros procesos y principalmente la producción.

Las cantidades teóricas necesarias para las producciones que consideramos como reales, se obtienen de la estequiometría de las reacciones para cada uno de nuestros productos.

Para el Acetato de Etilo



De la reacción:

60 Kg Acido producen 88 Kg de Acetato de Etilo

X Kg Acido producirán 4000 Kg de Acetato de Etilo

$$X = \frac{60 \times 4000}{88} = 2727.3 \text{ Kg de Acido Acético}$$

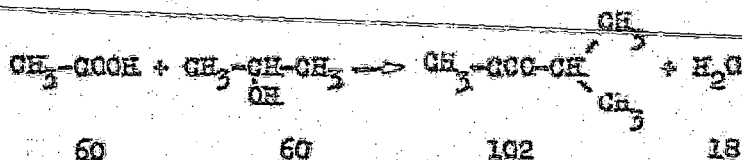
46 Kg Etanol producen 88 Kg de Acetato Etilo

X Kg Etanol producirán 4000 Kg de Acetato de Etilo

$$X = \frac{46 \times 4000}{88} = 2091 \text{ Kg de Etanol}$$

Para producir 4000 Kg de AcEt se necesitan teóricamente 2727.3 Kg de Acido Acético y 2091 Kg de Etanol. De la misma forma calculamos la cantidad teórica necesaria para una producción de 2100 Kg de Acetato de Etilo siendo esta de 1431.8 Kg de Acido Acético y 1097.7 Kg de Etanol.

Para el Acetato de Isopropilo



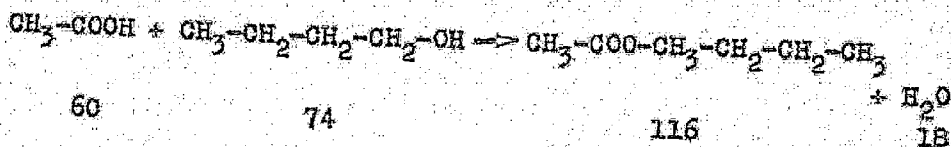
60 Kg de Acido Acético o Isopropanol produ-
cen 102 Kg de Ac IS

X Kg de Acido Acético o Isopropanol produ-
cirán 4100 Kg de Ac IS

$$X = \frac{60 \times 4100}{102} = 2411.8$$

Para una producción de 4100 Kg de Acetato de Isopro-
pilo, se necesitan teóricamente 2411.8 Kg tanto de
Acido Acético como de Isopropanol y para una produc-
ción de 2300 Kg de Acetato necesitaremos 1353 Kg de
Acido Acético y otros tantos de Isopropanol.

Para el Acetato de Butilo



60 Kg de Acido Acético producen 116 Kg de
Ac. de Butilo

X Kg de Acido Acético producirán 3500 Kg
de Ac. de Butilo

$$X = \frac{60 \times 3500}{116} = 1810.3 \text{ Kg de Acido Acético}$$

74 Kg de Butanol-n producen 116 Kg de Ac.
de Butilo

X Kg de Butanol-n producirán 3500 Kg de
Ac. de Butilo

$$X = \frac{74 \times 3500}{116} = 2232.8 \text{ Kg de Butanol-n}$$

Para una producción de 3500 Kg de Acetato de Butilo
se necesitan teóricamente 1810.3 Kg de Acido Acético
y 2232.8 Kg de Butanol-n.

Datos estadísticos para determinar las eficiencias del proceso de Acetato de Etilo en las dos plantas.

Planta G-1

Intervalo Acido	Intervalo Alcohol	*No. Ob.
2768.1 - 2795.4	2122.3 - 2143.5	5
2795.4 - 2822.7	2143.5 - 2164.2	5
2822.7 - 2850.0	2164.2 - 2185.1	5
2850.0 - 2877.3	2185.1 - 2206.0	5
2877.3 - 2904.6	2206.0 - 2226.9	10
2904.6 - 2931.9	2226.9 - 2247.8	25
2931.9 - 2959.2	2247.8 - 2268.7	15
Amplitud = 27.3	Amplitud = 20.9	

Planta P-2

Intervalo Acido	Intervalo Alcohol	*No. Ob.
1453.5 - 1467.8	1114.4 - 1125.4	5
1467.8 - 1482.1	1125.4 - 1136.4	5
1482.1 - 1496.4	1136.4 - 1147.4	25
1496.4 - 1510.7	1147.4 - 1158.4	15
1510.7 - 1525.0	1158.4 - 1169.4	10
1525.0 - 1539.3	1169.4 - 1180.4	5
1539.3 - 1553.6	1180.4 - 1191.4	5
Amplitud = 14.3	Amplitud = 11.0	

* No. Ob. = Número de observaciones que caen dentro del Intervalo.

Eficiencia Acetato Etílico en la Alarja Segunda 3-1

x_i	f_i	$x_i f_i$
Ac. Consumido	Frecuen	
Marca Olaso	cia	
2781.7	5	13908.5
2809.1	5	14045.5
2836.2	5	14181.5
2863.6	5	14318.0
2890.8	10	28908.0
2918.2	25	72955.0
2945.5	15	44182.5
Suma	70	202491.0

$$\text{Media} = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} = \frac{202491}{70} = 2892.7$$

Ala. Consumido

2132.8	5	10664.0
2153.7	5	10768.5
2174.6	5	10873.0
2195.6	5	10978.0
2216.5	10	22165.0
2237.4	25	55935.0
2258.3	15	33874.5
Suma	70	155258.0

$$\text{Media} = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} = \frac{155258}{70} = 2217.9$$

$$\text{Eficiencia en Acido} = \frac{2122.3}{2892.7} = 0.943 = \frac{\text{Kg Teóricos necesarios}}{\text{Kg usados reales}}$$

$$\text{Eficiencia en Alcohol} = \frac{2091}{2217.9} = 0.943$$

Eficiencia del Acetato de Etilo en la planta chica

P-2

x_i	f_i	$x_i f_i$
Ac. Consumido		
Marca Clase	cia	
1460.6	5	7303.0
1474.9	5	7374.5
1489.3	25	37232.5
1503.6	15	22554.0
1517.9	10	15179.0
1532.2	5	7661.0
1546.4	5	7732.0
Suma	70	105036.0

$$\text{Media} = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} = \frac{105036}{70} = 1500.5$$

Alc. Consumido		
1119.9	5	5599.5
1130.9	5	5654.5
1141.9	25	28547.5
1152.9	15	17293.5
1163.9	10	11639.0
1174.9	5	5874.5
1185.9	5	5929.5
Suma	70	80538.0

$$\text{Media} = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} = \frac{80538}{70} = 1150.5$$

$$\text{Eficiencia en Acido} = \frac{\text{Kg Teóricos Necesarios}}{\text{Kg reales usados}} = \frac{1431.8}{1500.5} = 0.954$$

$$\text{Eficiencia en Alcohol} = \frac{1097.7}{1150.5} = 0.954$$

Datos estadísticos para determinar las eficiencias
del proceso del Acetato de Butilo.

PLANTA G-1

Intervalo Ácido	Intervalo Alcohol	No. Obs.
1837.4 - 1855.5	2268.5 - 2290.8	5
1855.5 - 1873.6	2290.8 - 2313.1	5
1873.6 - 1891.7	2313.1 - 2335.4	25
1891.7 - 1909.8	2335.4 - 2357.7	15
1909.8 - 1927.9	2357.7 - 2380.0	10
1927.9 - 1946.0	2380.0 - 2402.3	5
1946.0 - 1964.1	2402.3 - 2424.6	5
Amplitud = 18.1	Amplitud = 22.3	

Eficiencia del Acetato de Etilo en la planta grande

G-I

x_1	f_1	$x_1 f_1$
Ac. Consumido	Frecuen	
Marca Clase	cia	
1846.5	5	9232.5
1864.6	5	9323.0
1882.7	25	47067.5
1900.8	15	28512.0
1918.9	30	19189.0
1937.0	5	9685.0
1955.1	5	9775.5
Suma	70	132784.5

$$\text{Media} = \frac{132784.5}{70} = 1896.9$$

$$\text{eficiencia Acido} = \frac{18103}{1896.9} = 0.954$$

Alc. Consumido

2279.7	5	11398.5
2302.0	5	11510.0
2324.3	25	58107.5
2346.6	15	35199.0
2368.9	10	23689.0
2391.2	5	11956.0
2413.5	5	12067.5
Suma	70	163927.5

$$\text{Media} = \frac{163927.5}{70} = 2341.8$$

$$\text{Eficio. Acido} = \frac{2232.8}{2341.8} = 0.954$$

Datos estadísticos para determinar las eficiencias
del proceso de Acetato de Isopropilo en las dos plan-
tas.

PLANTA G-1

Intervalo Acido y Alcohol	Frec.
2428.2 - 2452.2	5
2452.2 - 2476.3	5
2476.3 - 2500.4	15
2500.4 - 2524.5	20
2524.5 - 2548.6	15
2548.6 - 2572.7	10
2572.7 - 2596.8	5

Amplitud = 24.1

PLANTA E-2

Intervalo Acido y Alcohol	Frec.
1356.7 - 1370.3	10
1370.3 - 1383.8	20
1383.8 - 1397.3	25
1397.3 - 1410.8	10
1410.8 - 1424.3	5
1424.3 - 1437.8	5
1437.8 - 1451.3	5

Amplitud = 13.5

Eficiencia del Acetato de Isopropilo en la planta gran
de G-1

Marca Clase * Ac. y Alcohol	Frec.	$\sum f_i$	
2440.2	5	12201.0	
2454.3	5	12271.5	
2488.4	15	37325.0	Media = $\frac{188678.5}{75} = 2515.7$
2512.5	20	50250.0	
2536.6	15	38049.0	
2560.7	10	25607.0	Efic. = $\frac{Kg\ Teóricos}{Kg\ Reales} = \frac{2411.8}{2515.7} = 0.958$
2584.8	5	12924.0	
Suma	75	188678.5	

Eficiencia del Acetato de Isopropilo en la planta pe-
queña P-2

Marca Clase ** Ac. y Alcohol	Frec.	$\sum f_i$	
1363.5	10	13635.0	
1377.0	20	27540.0	Media = $\frac{111342.5}{80} = 1391.8$
1390.5	25	34762.5	
1404.0	10	14040.0	
1417.5	5	7087.5	Efic. = $\frac{1353.0}{1391.8} = 0.971$
1421.0	5	7105.0	
1434.5	5	7172.5	
Suma	80	111342.5	

* ** El Acido Acético y el Isopropanol se consumen en la misma proporción y con la misma cantidad.

III.- TENDENCIA DEL MERCADO

1a. Consideraciones sobre el mercado.

Nuestro estudio del mercado, estará enfocado principalmente a determinar las demandas probables por mes de nuestros productos. Esta demanda que transcribiremos, fue determinada por un Dto. especial de la Empresa que por medio de gráficas de ventas anteriores determinó extrapolando las que se esperan. De una manera conjunta a la anterior, los vendedores especializados buscan y logran pedidos a entregar posteriormente así como los pedidos normales de clientes asiduos, son de consideración al determinar dichas demandas.

De dichas gráficas se ha determinado un índice de crecimiento de los acetatos encontrándose estos del orden del 5 al 8% anual.

Actualmente el mercado Nacional cuenta con dos productores de Acetato de Etilo y uno solo de acetato

de Butilo y de Isopropilo, siendo el principal de estos la Empresa Química General S.A. ya que la otra empresa se encuentra todavía en pruebas y afinaciones de su proceso. En lo referente a importaciones se puede decir que no existen debido a que ésta empresa puede surtir el mercado actual y aún mayor y con una calidad de producto adecuada y casi inmejorable. A continuación exponemos las especificaciones de calidad de los productos estudiados.

ESPECIFICACION	Ac.Et.	Ac.Bu.	Ac.Is.
Peso Específico a 20/20° C	0.899-0.902	0.875-0.880	0.87-0.872
Rango de Destilación °C	1.0	3.0	1.5
Color (Pt-Co) max.	5	10	5
Acidez como % Ac Ac max.	0.005	0.01	0.005
Pureza % min.	99.5	98.5	99.0
Humedad % max.	0.01	0.10	0.10
Color Recidual	Ninguno	Ninguno	Ninguno
No. Volátiles g/100 ml.	0.0015	0.003	0.002

Estas especificaciones son las necesarias para pasar el control de calidad y casi siempre la producción se ajusta a ellas sin mayor dificultad.

Los precios actuales son los siguientes.

	Pipa 20,000 lbs.	Pipa 6000 lbs.	Pipa 1000 lbs.	200 lbs.
AC. AETILICO	5.20 \$/lt.	5.50 \$/lt.	6.00 \$/lt.	6.55 \$/lt.
AC. ISOPROPILICO	4.50 " "	4.80 " "	5.30 " "	5.80 " "
AC. BUTILICO	5.05 " "	5.30 " "	5.80 " "	6.30 " "

De las cuales podemos obtener el precio promedio.

Para Acetato de Etilo

$$\frac{20000 \times 5.20 + 6000 \times 5.50 + 1000 \times 6.00 + 200 \times 6.55}{27200}$$

Precio promedio Ac.Et. = 5.30 \$/lt. = 5.90 \$/Kg.

Para Acetato Isopropilico

$$\frac{20000 \times 4.50 + 6000 \times 4.80 + 1000 \times 5.30 + 200 \times 5.80}{27200}$$

Precio promedio Ac.Is. = 4.65 \$/lt. = 5.35 \$/Kg.

Para Acetato de Butilo

$$\frac{20000 \times 5.05 + 6000 \times 5.30 + 1000 \times 5.80 + 200 \times 6.30}{27200}$$

Precio promedio Ac.Bu. = 5.10 \$/lt. = 5.80 \$/Kg.

Estos precios los consideramos para determinar las ventas y las utilidades, una vez determinados los costos. Asimismo para determinar la curva de equilibrio.

Los usos de los Acetatos son muy variados, entre los cuales podemos mencionar su empleo como solventes en la industria de las pinturas y pigmentos y como base para esencias de perfumes cuya principal característica es asemejarse a las esencias naturales de algunas frutas.

RENTAS PROBABLES KG

MES	AcEt	AcBu	AcIB
1	160000	90000	60000
2	190000	105000	69000
3	195000	120000	76000

DISPONIBILIDADES DE MATERIAS PRIMAS KG

MES	ACIDO ACETICO	ETANOL	BUTANOL Y ISOPROPANOL
1	260000	200000	110000 50000
2	270000	190000	100000 60000
3	225000	208000	80000 45000

IV.- ANÁLISIS DE COSTOS Y UTILIDADES

Como ya lo hemos mencionado en los capítulos anteriores, es el objetivo del presente estudio, el determinar las capacidades de producción de las dos plantas existentes, tomando como base ó criterio la minimización de costos. Estos costos a los que nos hemos referido son los costos variables ó costos directos de producción de cada producto en cada planta, ya que los costos indirectos ó fijos permanecen constantes independientemente del tipo de producto que se haga. Sin embargo en el presente capítulo los consideraremos a ambos debido a que una de las restricciones del modelo matemático se refiere a una determinada producción mínima de acuerdo con la gráfica del punto de equilibrio.

La estimación de costos se hace en base a una empresa ya existente, que hace, además de los tres acetatos, otros dos productos. Debido a esto, se considera un 60% de los costos fijos totales como el apropiado para los productos objeto de nuestro estudio.

Los renglones que se consideraran dentro de los costos, con los que normalmente se tienen, sin embargo, es necesario hacer notar que el costo fijado, a cada uno de ellos, es estimado debido a que consideramos como confidencial los costos reales de la Compañía que tomamos como base por razones obvias.

1- COSTOS FIJOS

Los cargos fijos se dividirán en partes iguales para las dos plantas con excepción de la Depreciación y la Amortización por la diferencia de tamaño de los equipos y los diferentes costos de instalación.

Gastos Generales:

Administración	67167.00	40300.20	20150.10	20150.10
Ventas	36660.00	21996.50	10998.25	10998.25
Investigación	7348.40	4409.10	2204.55	2204.55

Costos de Producción:

Mano Obra Directa	40348.40	24480.00	12240.00	12240.00
Supervisión	18800.00	11280.00	5640.00	5640.00
Mano Ob. Mantenim.	26600.00	15960.00	7980.00	7980.00
Supervisión	4000.00	2400.00	1200.00	1200.00
Laboratorio	6570.00	3942.00	1971.00	1971.00
Supervisión	2300.00	1380.00	690.00	690.00
Acarrea Materiales	4200.00	2520.00	1260.00	1260.00
Supervisión	2550.00	1530.00	765.00	765.00
Artículos Seguridad	4108.35	3535.00	1767.50	1767.50
Artículos de Planta	2083.35	1250.00	625.00	625.00
Depreciación	142941.97		95025.27	47916.70
Amortización	56181.70		36181.70	20000.00
T o t a l		334072.47	198664.57	135408.10

2- COSTOS VARIABLES

Los costos variables se darán en pesos por Kg de Acetato producido, por lo que es necesario considerar, para cada producto en cada planta, los consumos de materias primas de catalizador y de servicios por Kg producido. Para éste efecto consideraremos las cantidades de materias primas y producto mencionados en el Capítulo II en el inciso 3 y que se emplearon para determinar las eficiencias de los procesos.

Planta	G-1			P-2	
Producto	AcEt	AcBu	AcIs	AcEt	AcIs
Producción Kg	4000.0	3500.0	4100.0	2100.0	2300.0
Cons. de Acido Kg	2892.7	1896.5	2515.7	1500.5	1391.8
Cons. de Alcohol Kg	2217.9	2341.8	2515.7	1150.5	1391.8

Para el Acetato de Etilo en la planta G-1 los consumos son:

$$\frac{2892.7}{4000.0} = 0.7231 \quad \frac{\text{Kg Acido Acético}}{\text{Kg Acetato Etilo producido en G-1}}$$

$$\frac{2217.9}{4000.0} = 0.5543 \quad \frac{\text{Kg Etanol}}{\text{Kg Acetato Etilo producido en G-1}}$$

Con una eficiencia de proceso de 94.3%

Para el Acetato de Etilo en la planta P-2

$$\frac{1500.5}{2100.0} = 0.7145 \quad \frac{\text{Kg Acido Acético}}{\text{Kg Acetato Etilo producido en P-2}}$$

$$\frac{1150.5}{2100.0} = 0.5478 \quad \frac{\text{Kg Etanol}}{\text{Kg Acetato Etilo producido en P-2}}$$

Con una eficiencia de 95.4%

Para el Acetato de Butilo en la planta G-1 los consumos son:

$$\frac{1896.5}{3500.0} = 0.5418 \quad \frac{\text{Kg de Acido Acético}}{\text{Kg de Acetato Butilo producido}}$$

$$\frac{2341.8}{3500.0} = 0.6690 \quad \frac{\text{Kg de Butanol-normal}}{\text{Kg de Acetato Butilo producido}}$$

Con una eficiencia de 95.4%

Para el Acetato de Isopropilo en la planta G-1

$$\frac{2515.7}{4100.0} = 0.6135 \quad \frac{\text{Kg Acido Acético} = \text{Kg Isopropanol}}{\text{Kg Acetato Isoprop. Kg Ac. Isopropilo G-1}}$$

Debido a que se consumen en igual proporción tanto el Acido como el Isopropanol y con una eficiencia de 95.8%.

Para el Acetato de Isopropilo en la planta P-2

$$\frac{1391.8}{2300.0} = 0.6051 \quad \frac{\text{Kg Acido Acético ó de Isopropanol}}{\text{Kg Ac. Isopropilo en P-2}}$$

De acuerdo con estas relaciones y con los
precios de las materias primas obtenemos el costo de
materia prima por Kg de producto producido.

MATERIAS PRIMAS :

0.7231	<u>Kg Acido Acético</u>	<u>x 3.25</u>	<u>\$</u>	=	2.3500	<u>\$</u>
	<u>Kg AcEt prod. G-1</u>		<u>Kg Ac. Acético</u>			<u>Kg AcEt prod. en G-1</u>
0.5543	<u>Kg Etanol</u>	<u>x 3.90</u>	<u>\$</u>	=	2.16170	<u>\$</u>
	<u>Kg AcEt prod. G-1</u>		<u>Kg Etanol</u>			<u>Kg AcEt prod. en G-1</u>
0.7145	<u>Kg Acido Acético</u>	<u>x 3.25</u>	<u>\$</u>	=	2.32210	<u>\$</u>
	<u>Kg AcEt prod. P-2</u>		<u>Kg Ac. Acético</u>			<u>Kg AcEt prod. en P-2</u>
0.5478	<u>Kg Etanol</u>	<u>x 3.90</u>	<u>\$</u>	=	2.13644	<u>\$</u>
	<u>Kg AcEt prod. P-2</u>		<u>Kg Etanol</u>			<u>Kg AcEt prod. en P-2</u>
0.5418	<u>Kg Acido Acético</u>	<u>x 3.25</u>	<u>\$</u>	=	1.76085	<u>\$</u>
	<u>Kg AcBu prod. G-1</u>		<u>Kg Ac. Acético</u>			<u>Kg AcBu prod. en G-1</u>
0.5690	<u>Kg Butanol</u>	<u>x 2.10</u>	<u>\$</u>	=	1.40490	<u>\$</u>
	<u>Kg AcBu prod. G-1</u>		<u>Butanol</u>			<u>Kg AcBu prod. en G-1</u>
0.6135	<u>Kg Acido Acético</u>	<u>x 3.25</u>	<u>\$</u>	=	1.99387	<u>\$</u>
	<u>Kg AcIs prod. G-1</u>		<u>Ac. Acético</u>			<u>Kg AcIs prod. en G-1</u>
0.6135	<u>Kg Isopropanol</u>	<u>x 1.80</u>	<u>\$</u>	=	1.10430	<u>\$</u>
	<u>Kg AcIs prod. G-1</u>		<u>Isopropanol</u>			<u>Kg AcIs prod. en G-1</u>
0.6051	<u>Kg Acido Acético</u>	<u>x 3.25</u>	<u>\$</u>	=	1.96657	<u>\$</u>
	<u>Kg AcIs prod. P-2</u>		<u>Ac. Acético</u>			<u>Kg AcIs prod. en P-2</u>
0.6051	<u>Kg Isopropanol</u>	<u>x 1.80</u>	<u>\$</u>	=	1.08918	<u>\$</u>
	<u>Kg AcIs prod. P-2</u>		<u>Isopropanol</u>			<u>Kg AcIs prod. en P-2</u>

CATALIZADOR :

Producto	Planta	$\frac{\text{Kg usados}}{\text{Kg producidos}}$	Precio \$/Kg	$\frac{\$ (\text{Catalizador})}{\text{Kg Producido}}$
AcEt	G-1	$\frac{10}{12000} = 0.98 \times 10^{-3}$	20.00	0.0190
AcEt	P-2	$\frac{5}{6300} = 0.79 \times 10^{-3}$	20.00	0.0160
AcBu	G-1	$\frac{16}{10500} = 1.43 \times 10^{-3}$	20.00	0.0280
AcIs	G-1	$\frac{10}{12300} = 0.81 \times 10^{-3}$	20.00	0.0160
AcIs	P-2	$\frac{5}{6900} = 0.72 \times 10^{-3}$	20.00	0.0140

SERVICIOS :

Producto	Planta	Vapor \$/Kg	Electricidad \$/Kg
AcEt	G-1	0.11	0.008
AcEt	P-2	0.10	0.005
AcBu	G-1	0.15	0.009
AcIs	G-1	0.11	0.008
AcIs	P-2	0.10	0.005

COSTOS VARIABLES POR KG PRODUCCION .

Acetato de Etila planta grande G-1

Acido	2.35000
Alcohol	2.16170
Catalizador	0.01900
Vapor	0.11600
Electricidad	<u>0.00800</u>

4.64870 \$/Kg producido de AcEt en G-1

Acetato de Etila planta chica P-2

Acido	2.32210
Etanol	2.13644
Catalizador	0.01600
Vapor	0.10000
Electricidad	<u>0.00500</u>

4.57954 \$/Kg producido de AcEt en P-2

Acetato de Butila planta grande G-1

Acido	1.76085
Butanol-n	1.40490
Catalizador	0.02800
Vapor	0.15000
Electricidad	<u>0.00900</u>

3.35275 \$/Kg producido de AcBu en G-1

Acetato de Isopropilo planta grande G-1

Acido	1.99387
Isopropanol	1.10430
Catalizador	0.01600
Vapor	0.11000
Electricidad	0.00800
	3.23217

\$/Kg producido de AcIn en G-1

Acetato de Isopropilo planta chica P-2

Acido	1.96657
Isopropanol	1.08918
Catalizador	0.01400
Vapor	0.10000
Electricidad	0.00500
	3.17475

\$/Kg producido de AcIn en P-2

* Otros costos variables a cualquier producción sin variar proporcionalmente con la misma.

Gasto Mensual

- Artículos de Planta	1250.00
- Artículos de Seguridad	1515.00
- Refacciones	2500.00

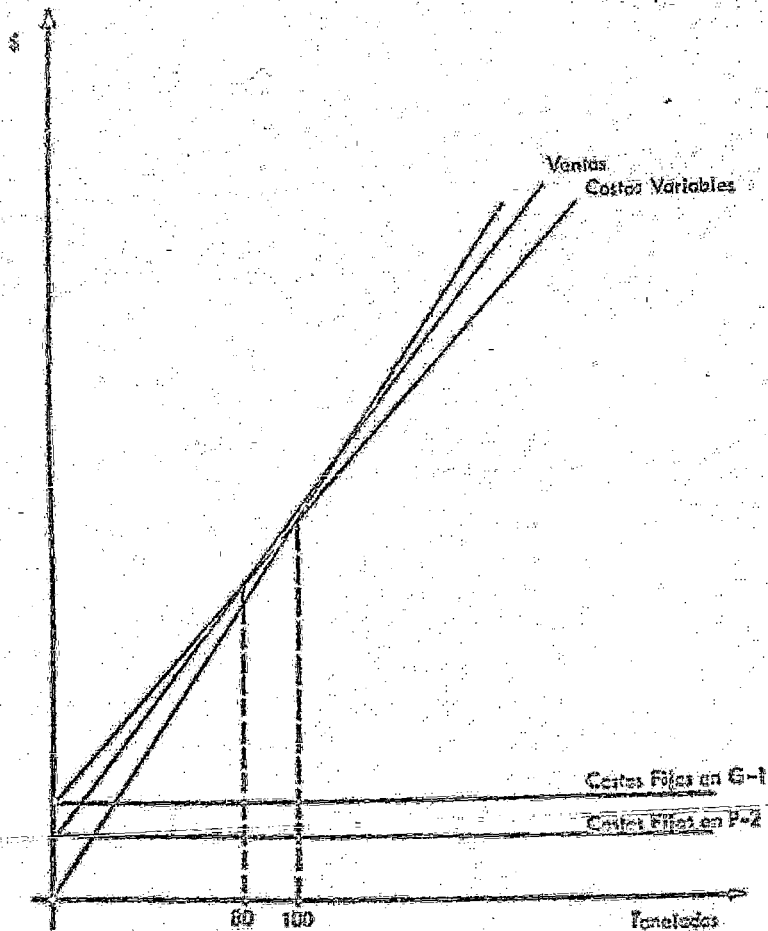
-Pérdidas por Arranque y Paros-

Producto	Planta	Acido Kg	Costo \$/Kg	Alcohol Kg	Costo Kg	Costo tot. \$
AcEt	G-1	201	452.25	99	188.10	640.35
AcEt	P-2	116	261.00	84	159.60	420.60
AcBu	G-1	184	414.00	116	243.60	657.60
AcIs	G-1	150	357.50	150	270.00	607.50
AcIs	P-2	100	225.00	100	180.00	405.00

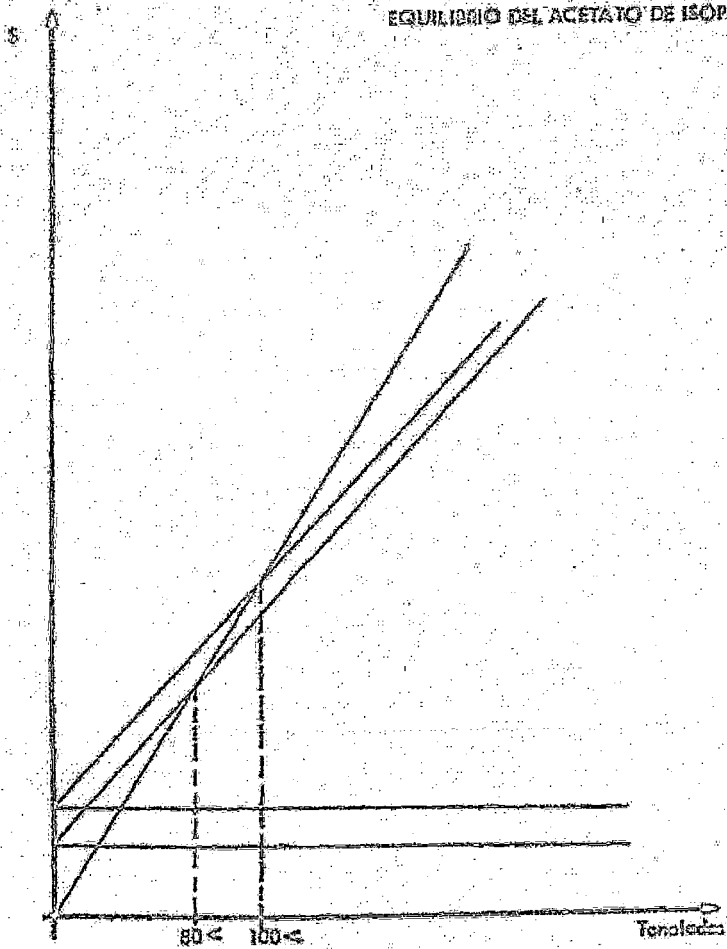
Ecuaciones de Costos Variables

Producto	Planta	Ecuación
AcEt	G-1	$640.35 \frac{x_{11}}{x_{11}} + 4.64370 x_{11} = Cv_{11}$
AcEt	P-2	$420.60 \frac{x_{12}}{x_{12}} + 4.57954 x_{12} = Cv_{12}$
AcBu	G-1	$657.60 \frac{x_{31}}{x_{31}} + 3.35275 x_{31} = Cv_{31}$
AcIs	G-1	$607.50 \frac{x_{21}}{x_{21}} + 3.23219 x_{21} = Cv_{21}$
AcIs	P-2	$405 \frac{x_{22}}{x_{22}} + 3.17475 x_{22} = Cv_{22}$

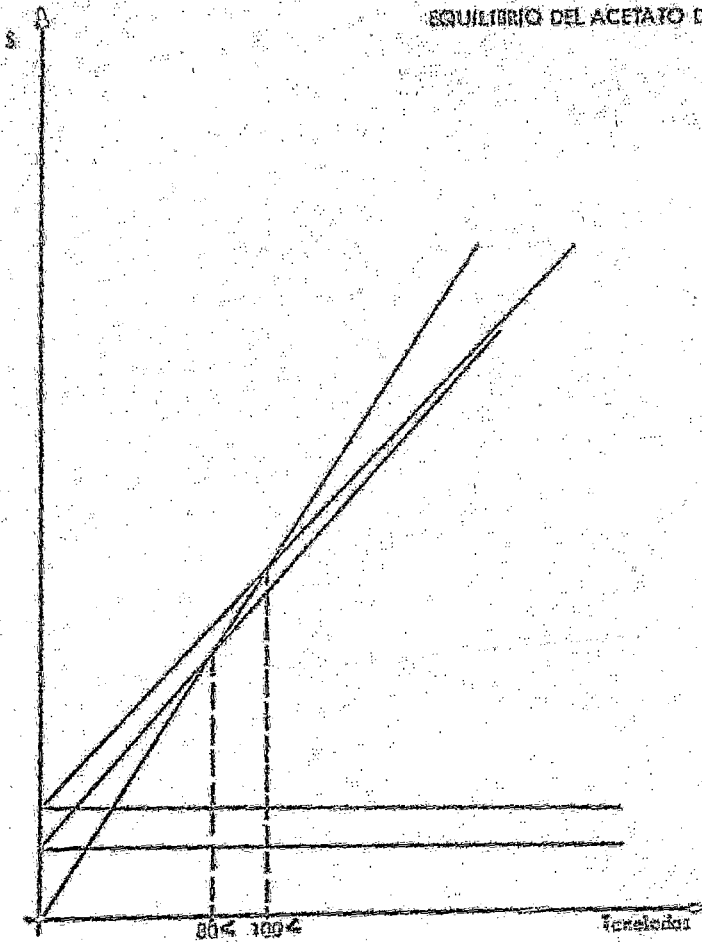
GRAFICA DEL PUNTO DE
EQUILIBRIO DEL ACETATO DE ETILO



GRÁFICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO DEL ACETATO DE ISOPROPILLO



GRAFICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO DEL ACETATO DE BUTILO



V.- DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ÓPTIMAS

Como lo mencionamos en la introducción, los capítulos anteriores han tenido como objeto el calcular ó conocer los coeficientes reales del modelo matemático teórico ya expuesto y poder formar así la matriz de restricciones para poder producir a su solución y encontrar los valores deseados objeto de nuestro estudio. Además de las características del modelo matemático ya mencionadas, es necesario complementar estas con la siguiente:

- a) Los costos que se minimizarán son los "Costos Variables" de producción de cada producto en cada planta.
- b) Vamos a determinar tres meses de producción con diferentes demandas cada uno.
- c) Para los tres meses de producción a determinar, haremos dos intentos. El primero considerando que la producción sea exactamente igual a la demanda y segundo haciendo que la producción sea mayor a la

demanda, pero siempre dentro de los límites de capacidad de las plantas.

Lo anterior lo hacemos con objeto de probar que el modelo matemático es capaz de presentar disyuntivas cuyas decisiones podrían representar aumentos de gran consideración en las utilidades de la empresa.

A continuación representaremos como se acostumbra en programación lineal las ecuaciones de nuestro modelo:

$$(\min) = 4,64870x_{11} + 4,57954x_{12} + 3,23217x_{21} + 3,17475x_{22} + 3,35273x_{31}$$

Sujeta a:

$x_{11} + x_{12}$	$\leq$	150.000	190.000	195.000
$x_{21} + x_{22}$	$\leq$	60.000	69.000	76.000
x_{31}	$\leq$	90.000	105.000	120.000
$x_{11} + x_{21} + x_{31}$	$\leq$	100.000		
$x_{12} + x_{22}$	$\leq$	80.000		

$$0.7231^x_{11} + 0.7145^x_{12} + 0.5418^x_{31} + 0.6135^x_{21} + 0.6051^x_{22} \leq 260000 \quad - 1a.$$

$$270000 \quad - 2a.$$

$$256000 \quad - 3a.$$

$$0.5543^x_{11} + 0.5478^x_{12} \leq 200000 \quad 190000 \quad 208000$$

$$0.6690^x_{31} \leq 110000 \quad 100000 \quad 80000$$

$$0.6135^x_{21} + 0.6051^x_{22} \leq 50000 \quad 60000 \quad 45000$$

$$0.15873^x_{12} + 0.14493^x_{22} \leq 28000$$

$$0.08334^x_{11} + 0.08131^x_{21} + 0.09524^x_{31} \leq 27000$$

$$0 \leq x_{11} \leq 360000$$

$$0 \leq x_{21} \leq 369000$$

$$0 \leq x_{31} \leq 315000$$

$$0 \leq x_{12} \leq 189000$$

$$0 \leq x_{22} \leq 207000$$

Las primeras tres restricciones son de demandas, las siguientes dos corresponden a las producciones mínimas de acuerdo con la gráfica de la curva de equilibrio, las siguientes cuatro son restricciones por concepto de disponibilidad de materias primas y las dos últimas son las que cambiaremos de un intento a otro de manera que en uno, las producciones sean igual a las demandas y en el otro sea mayor que las demandas, aprovechando la capacidad expuesta en forma de tiempo; por último tenemos los límites de cada variable las cuales representan los valores

máximos y mínimos que pueda tener cada una de acuerdo con las capacidades de producción. Estas cantidades se acostumbran poner en forma matricial, de manera que la matriz resultante sirva de base para la resolución del problema.

Matriz de Restricciones:

		x_{11}	x_{12}	x_{21}	x_{22}	x_{31}	Tind.1	Tind.2	Tind.3
Suma		4.54870	4.57954	3.23217	3.17475	2.39273			
Rest.	1	1	1				180000	190000	195000
Rest.	2			1	1		80000	69000	76000
Rest.	3					1	90000	105000	130000
Rest.	4	1		1		1	100000	160000	100000
Rest.	5		1		1		80000	80000	80000
Rest.	6	0.7231	0.7145	0.6135	0.6051	0.5418	260000	270000	256000
Rest.	7	0.5543	0.5478				200000	190000	203000
Rest.	8					0.6690	110000	100000	80000
Rest.	9			0.6135	0.6051		50000	60000	45000
Rest.	10		0.15873		0.14493		28000	28000	28000
Rest.	11	0.08334		0.08131		0.09524	27000	27000	27000
ES		360000	189000	369000	207000	315000			
LI		0	0	0	0	0			

Existen en la literatura varios métodos para resolver "programas lineales". El más común y conocido es el método original de Dantzing también conocido como Simplex y cuyas modificaciones han ido am-

plificando y versatilizando dichos métodos, de manera que su manejo y aplicación es cada día más accesible y sencillo. Las Empresas dedicadas al ramo de las Computadoras Electrónicas han mecanizado los métodos haciendo programas de computadora y que ponen a disposición de quién use sus máquinas. Tal es el caso de la I.E.M. que pone a la disposición de sus clientes un programa para resolver problemas de programación lineal conocida bajo el nombre de "Mathematical Programming System/360" (M.P.S.) y que es el que utilizaremos para nuestro problema de capacidades de producción. La matriz de restricciones antes expuesta es la que el programa toma como base para sus operaciones de manera que se tiene que alimentar en tarjetas con un formato determinado, constituyendo los datos del problema. El tiempo que emplea la máquina en resolver nuestro problema es menor de un minuto; en cambio el hacerlo a mano, nos llevaría varios días en terminarlo. Esta, además de la inexistencia y probabilidad de error, son algunas de las

principales ventajas del uso de las máquinas computadoras en la resolución de problemas de programación lineal. De hecho, problemas con un gran número de incógnitas y restricciones, resulta imposible resolverlos a menor por esta razón las computadoras vinieron a ampliar el campo de aplicación de la programación lineal.

Con respecto al método matemático es necesario mencionar que está basado en el Álgebra Vectorial y Matricial con todas sus propiedades y combinaciones y cuya demostración podemos encontrar en la Bibliografía aquí mencionada.

**PROCESO DE RESOLUCIÓN
PRODUCCIÓN IGUAL A LAS DEMANDAS
Producción en Kg**

	MES 1		MES 2		MES 3	
	G-1	P-2	G-1	P-2	G-1	P-2
AcEt	42000	118000	18000	172000	157000	38000
AcIsp	60000	0	69000	0	0	76000
AcBu	90000	0	105000	0	120000	0
Costos Variables	\$1,231,308.82		\$1,486,415.95		\$1,547,479.42	

**PRODUCCIÓN MAYOR A LAS DEMANDAS
Producción en Kg**

	MES 1		MES 2		MES 3	
	G-1	P-2	G-1	P-2	G-1	P-2
AcEt	56557.2	176400.1	57736.4	176400.1	112690.6	176400.1
AcIsp	81499.6	0	97799.5	0	76000.0	0
AcBu	164424.5	0	149476.8	0	120000.0	0
Costos Variables	\$1,885,443.96		\$1,893,493.78		\$1,979,671.67	

**UTILIDADES POR MES
PRODUCCION IGUAL A LAS DEMANDAS**

CONCEPTO	MES 1	MES 2	MES 3
AcEt	944000.00	1121000.00	1150500.00
VENTAS AcEt	422000.00	609000.00	406600.00
AcEsp	321000.00	369150.00	696000.00
VENTAS BRUTAS	1687000.00	2099150.00	2253100.00
ISIM	50610.00	62974.50	67593.00
VENTAS NETAS	<u>1636390.00</u>	<u>2036175.50</u>	<u>2185507.00</u>
COSTOS FIJOS	334072.47	334072.47	334072.47
COSTOS VARIABLES	<u>1231308.82</u>	<u>1486415.95</u>	<u>1547479.42</u>
COSTOS TOTALES	<u>1565381.29</u>	<u>1820488.42</u>	<u>1881551.89</u>
UTILIDAD A.I.	\$ 71008.71	\$ 215687.08	\$ 303955.11

PRODUCCION MAYOR A LAS DEMANDAS

CONCEPTO	MES 1	MES 2	MES 3
AcEt	1374448.07	1381405.36	1705635.13
VENTAS AcEt	436022.86	523227.33	406600.00
AcEsp	953662.10	866963.12	696000.00
VENTAS BRUTAS	2764133.03	2771595.80	2808235.13
ISIM	82924.00	83147.87	84247.05
VENTAS NETAS	<u>2681209.03</u>	<u>2688447.93</u>	<u>2723988.08</u>
COSTOS FIJOS	334072.47	334072.67	334072.67
COSTOS VARIABLES	<u>1885443.96</u>	<u>1893493.78</u>	<u>1979671.67</u>
COSTOS TOTALES	<u>2219516.43</u>	<u>2227566.45</u>	<u>2313744.34</u>
UTILIDAD A.I.	\$ 461692.60	\$ 460881.48	\$ 410247.74

VI.- CONCLUSIONES

1- Observando las tablas de resultados, notaremos a primera vista la diferencia tan grande entre las utilidades de los meses en los cuales la producción es mayor a las demandas; esto, sin embargo, es hasta cierto punto normal para la mayoría de las cosas, solo que en éste la diferencia es más marcada debido a que los costos van disminuyendo más en proporción al aumentar la cantidad producida por causa de las alternativas de producción de los productos en las plantas.

2- En proporción para el Mes 1 los costos aumentaron 53.1% mientras que las utilidades subieron en 550.0%. Para el 2o. Mes 27.3% y 113.6%. Para el Mes 3 los costos 27.9% y las utilidades 34.9%. De los intentos realizados encontramos el optimo para el Mes 1 cuando la producción es mayor a las demandas, ya que es el que presenta las mayores ganancias. Como conclusión podemos afirmar que las distribuciones de producción así como las cantidades producidas para ese mes son las adecuadas para obtener el máximo de utilidades de la empresa.

3- Se ~~consideraron~~ las restricciones de material prima como débiles debido a que la empresa cuen-

ta con medios de adquirir cualquiera de los reactivos necesarios para los productos.

4- La distribución de la producción en las plantas es diferente para los dos casos que analizamos, lo cual indica la validez de la que nos proponemos al pensar que el programar nuestras producciones de cada planta hará subir las utilidades.

5- Hemos tratado de definir un problema de decisión al nivel de Gerencia, por medio de un análisis de costes y de mercado, cuya solución fue dada por un programa lineal. De esta manera queda asentada como una conclusión el hecho de que es realmente posible por medio de un programa lineal dar soluciones a este tipo de decisiones.

6- Debido a las características matemáticas del procedimiento del método, como del procedimiento de computación, podemos afirmar que la solución encontrada es la óptima, es decir la mejor.

7- También podemos concluir que el modelo matemático no solo es aplicable a una programación mensual, sino que se puede extender a una programación anual, considerando las demandas como las ventas probables esperadas por el mercado y de esta manera obtener los datos ó informes necesarios para tomar decisiones del tipo de política de ventas, de ampliaciones de las plantas para aumentar producciones y otro tipo de decisiones a ese nivel, como sería el construir una nueva planta.

8- Podemos afirmar con certeza que el empleo de la programación lineal no solo es conveniente sino indispensable para la programación de la producción. Esto lo hemos querido ilustrar con las plantas de acetatos, pero sin embargo, podemos extendernos a cualquier industria enfocando el problema de diferentes formas buscando siempre el mismo objetivo: OPTIMIZAR LAS OPERACIONES tanto en funcionamiento como en costos y de esta manera acrecentar el desarrollo de la industria por medio de un progreso técnico-económico que fortalecerá la economía de nuestra Patria que día a día y esfuerzo tras esfuerzo, va colocándose

cándose en el concierto de las naciones como una de las que están destinadas a ser portavoz del progreso y líder de la humanidad.

BIBLIOGRAPHY

Linear Programming.

Saul I. Gass

McGraw-Hill Book Company, Inc.

Methods and Models of Operations Research

Arnold Kaufmann

Prentice - Hall, Inc.

Linear Programming

Hadley

McGraw-Hill Book Company, Inc.

Process Engineering Economics

Schwayer

McGraw-Hill Book Company, Inc.