



46  
25  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

FACULTAD DE QUIMICA

**ANALISIS DE LAS CADENAS PRODUCTIVAS  
DE LA INDUSTRIA MEXICANA.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERA QUIMICA**  
P R E S E N T A ;  
**GARCIA ESPITIA MARTHA**



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**TESIS**

**COMPLETA**

---

**Jurado Asignado:**

Presidente      Prof. Vázquez Islas Manuel  
Vocal            Prof. Pérez Santana Ernesto  
Secretario      Prof. Montiel Maldonado Celestino  
1er. suplente   Prof. Pérez Camacho Ricardo  
2do. suplente   Prof. Gómez Velasco Hector Marcelino

**Sitio donde se desarrolló el tema:**

Laboratorio de Simulación y Optimización de Procesos.  
División de Estudios de Posgrado.  
Edificio de Ingeniería Química.  
Facultad de Química. U.N.A.M.

**Asesor del Tema:**

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Celestino Montiel Maldonado.

**Sustentante:**

  
\_\_\_\_\_  
García Espitia Martha.

---

---

**Agradecimientos:**

**A mis padres Esperanza y Guillermo:**

A quienes debo todo lo que soy. Gracias, por el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida.

**A mis hermanas María, Maty e Isabel:**

Gracias por el apoyo brindado a lo largo de la carrera.

**A mis sobrinos Uriel e Iván:**

Porque son una parte importante de la familia.

**Al Ing. Celestino Montiel Maldonado.**

Muy especialmente doy las gracias por su invaluable ayuda en la realización de este trabajo.

**Al Ing. Manuel Vázquez Islas**

Doy las gracias por su invaluable ayuda y comentarios para la realización de este trabajo.

**A mis amigos:**

Marcela, Marco Antonio, Nicolás, Rosa María, Miguel Ángel, y a todos aquellos que convivieron conmigo a lo largo de la carrera, por todos esos momentos inolvidables.

**A la Universidad Nacional Autónoma de México**

Por permitirme formar parte de ella y brindarme la oportunidad de superarme día a día.

---

## ÍNDICE.

<b>ÍNDICE</b> .....	<i>i</i>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. Generalidades</b> .....	<b>4</b>
<i>Modelos de programación matemática existentes</i> .....	5
<b>CAPÍTULO II. Modelos de Programación</b> .....	<b>11</b>
<i>Programación Lineal</i> .....	12
Formulación de los modelos de programación lineal.....	12
Estándar de la programación lineal.....	16
Método Simplex.....	19
Teoría de la dualidad.....	23
<i>Programación Multiobjetivo</i> .....	29
Planteamiento de problema.....	29
Caso de dos funciones objetivo.....	32
Caso de tres funciones objetivo.....	34
<i>Modelo matemático empleado</i> .....	38
Objetivos de desarrollo a corto y largo alcance.....	43
Limitaciones de modelo.....	47
<b>CAPÍTULO III. Programa de simulación</b> .....	<b>50</b>
<i>Estructura del simulador</i> .....	51
Implantación de la estructura del simulador.....	51
Requerimiento de datos.....	52
Estimación de los costos de producción.....	56
Rutinas importantes.....	59
<i>Como opera el programa</i> .....	62

---

<b>CAPÍTULO IV. Cadenas productivas</b> .....	<b>65</b>
<i>Cadenas productivas</i> .....	66
Elaboración de la cadena productiva .....	70
Generación de la estructura de datos para las cadenas productivas .....	71
<b>CAPÍTULO V. Simulación de la cadena productiva</b> .....	<b>77</b>
<i>Simulación de la cadena productiva</i> .....	78
Consideraciones necesarias para la simulación .....	80
Reporte de las diferentes tecnologías de producción .....	81
Usos principales .....	85
Disponibilidad de exportación .....	86
Información general .....	86
Balance producción/consumo .....	88
Comparación de las estructuras de producción .....	90
Evaluación de la estructura de producción .....	90
<i>Cadenas productivas</i> .....	91
Para el etileno .....	92
Para el Acetaldehído .....	94
<i>Desarrollo de las tácticas de integración</i> .....	95
<b>CAPÍTULO VI. Análisis de resultados</b> .....	<b>100</b>
<b>CAPÍTULO VII. Conclusiones</b> .....	<b>106</b>
<b>APÉNDICES</b> .....	<b>110</b>
A. Tabla 1. Químicos incluidos en el modelo .....	111
Tabla 2. Lista de las transformaciones químicas .....	113
Tabla 3. Transformaciones químicas que constituyen el modelo .....	114
B. Archivo químico .....	115
C. Archivo de proceso .....	120
D. Archivo de balance de materia .....	126
E. Archivo del precio de los químicos .....	131
F. Procesos incluidos en el modelo .....	135
G. Archivo producción y capacidad inst. de los químicos en su proceso principal .....	146
H. Archivo de producción, importación, exportación y consumo aparente de los químicos en México .....	147
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>149</b>

---

## INTRODUCCIÓN.

La industria petroquímica es un sistema interactivo complejo de procesos, en la cual se transforman materias primas, derivadas del petróleo y del gas natural, en bienes y servicios.

Para la producción de muchos petroquímicos hay más de una ruta de procesamiento viable, cada una de éstas rutas involucra diferentes combinaciones de materia prima y de coproductos. La flexibilidad que existe en las diferentes rutas de procesamiento es una importante característica de la industria petroquímica, y debe de tomarse en cuenta cuando se planea el desarrollo industrial de una región o de un país, por tal motivo el presente trabajo permite evaluar las diferentes rutas y permite elegir la que satisfaga nuestras necesidades tanto de desarrollo industrial como de producción.

El programa para evaluar las cadenas productivas permite seleccionar de las diferentes alternativas de procesos petroquímicos la que puede satisfacer la demanda de algún producto final y la estructura óptima, para ser la base de futuras decisiones de inversión.

Ya que el curso del desarrollo industrial se ve influenciado por objetivos de desarrollo tanto locales como globales a corto y largo alcance, la estructura del sistema resultante debe ser una estructura óptima que cumpla con los objetivos del desarrollo industrial.

---

## INTRODUCCIÓN.

En consecuencia, para planear coherentemente el desarrollo industrial es necesario resolver las diferencias que existen entre los objetivos de desarrollo mencionados anteriormente. Asumiendo esto, como un problema que esta presente en las etapas de desarrollo industrial, por lo que en el presente trabajo, el programa emplea modelos matemáticos de programación lineal, para generar una estructura optima del sistema que corresponda a los objetivos de corto y de largo alcance, y que sea aplicable a los objetivos de desarrollo tanto locales como globales. Las estructuras que se obtienen son comparadas en orden de generación para determinar el grado de similitud estructural (DSS) el cual permitirá obtener la estructura de procesamiento más aceptable a nuestras necesidades.

Los objetivos de la presente tesis son: generar las secuencias de producción de los petroquímicos (tomando como ejemplo al *ETILENO*), y elegir la que más se adapte a nuestras necesidades; elaborar la cadena productiva de diferentes petroquímicos, obtener la información económica y de producción para establecer las posibilidades de exportación y/o importación de los diferentes petroquímicos; elaborar las Tácticas de integración y elegir la que más se ajuste al ambiente económico y productivo del país.

En el capítulo I, "GENERALIDADES", se hace una semblanza de los trabajos relacionados con los diferentes modelos de programación matemática y de las variables que tienen en consideración los diferentes autores.

En el capítulo II, "MODELOS DE PROGRAMACIÓN", se plantean la diferencia entre el modelos de programación lineal y el

modelo de programación multiobjetivo, el tipo de variables y de restricciones de cada uno, la secuencia de cálculo para resolver cada modelo, y el modelo empleado en el programa con las variables y restricciones que se tienen al hacer la evaluación de la cadena productiva de algún químico y/o petroquímico.

En el capítulo III, "PROGRAMA DE SIMULACIÓN", se establece la forma en que está estructurado el programa de simulación, así como la estructura de los archivos de datos necesarios para llevar a cabo la simulación de las cadenas productivas. Además, se plantea las rutinas más importantes del programa y la forma en que interactúan las diferentes opciones del mismo.

En el capítulo IV, "CADENAS PRODUCTIVAS", se plantea la forma gráfica para elaborar una cadena productiva, y como se tiene acceso a los nodos tanto químicos como de proceso. Así mismo, se establece la interacción de los nodos químico y de proceso para formar los árboles tecnológicos.

En el capítulo V, "SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA", se plantean las condiciones necesarias para llevar a cabo la simulación de la cadena productiva del ETILENO, así como los diferentes resultados de la simulación, contrastándolos con datos reportados en el anuario Estadístico de PEMEX.

Finalmente, en el capítulo VI y VII, "ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES", se hace el análisis de los resultados obtenidos, en la simulación de la cadena productiva del ETILENO.

---

**CAPÍTULO I**

**GENERALIDADES.**

---

## MODELOS DE PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA EXISTENTES.

Rudd<sup>1</sup> (1974), propone una aproximación al modelo de la industria química intermedia en el cual las fuerzas económicas, tecnológicas y de producción están integradas dentro de la simulación de la dinámica industrial. Este autor visualiza a la industria química como una gran cadena de procesos químicos y propone el uso de un programa lineal (LP) para modelar su funcionamiento, basándose en dos factores: primero, las pruebas industriales a corto alcance pueden mejorar la localización de sus recursos mediante el uso óptimo de la capacidad existente y; segundo, en el proceso los coeficientes de balance de materia son esencialmente lineales.

Así mismo propone el modelo como parte de una teoría de desarrollo industrial para planeaciones de corto alcance a su vez, ésta planeación puede ser el punto de partida para las planeaciones de largo alcance; algunas de estas planeaciones pueden cambiar la capacidad de las tecnologías actuales así como de las nuevas.

La figura 1 muestra el flujo de información para este tipo de modelo de desarrollo industrial.

Stadtherr<sup>11</sup>, hace el primer modelo implementando al modelo de Rudd, en él muestra las ventajas que tiene el considerar a la alimentación como una mayor fracción de los costos de producción de muchos petroquímicos.

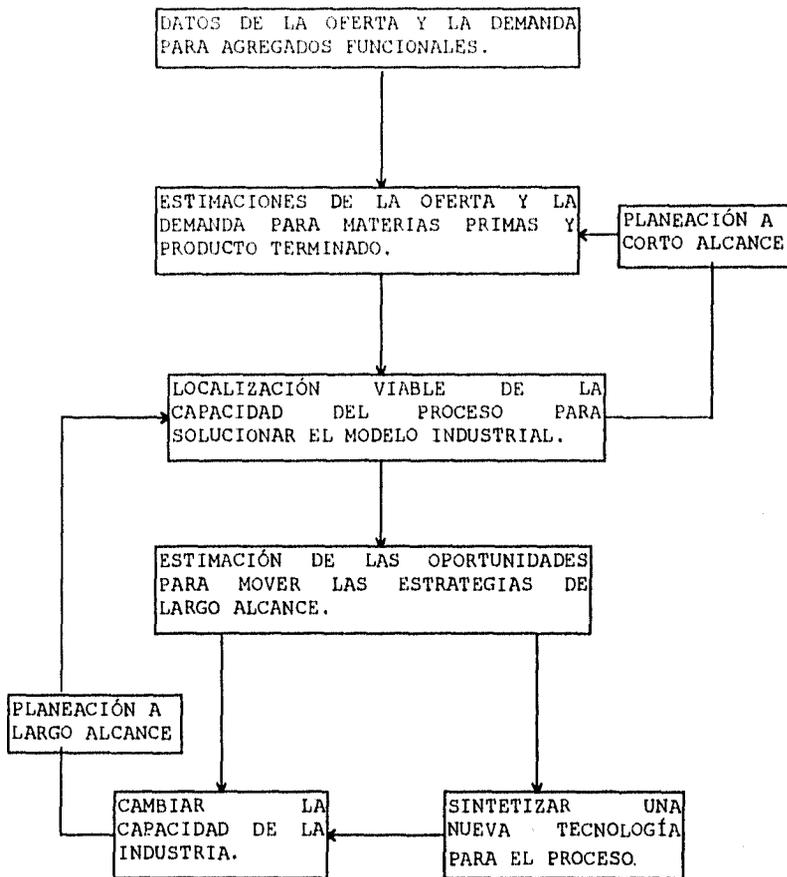


Figura. 1 Flujo de información en el modelo de desarrollo industrial.

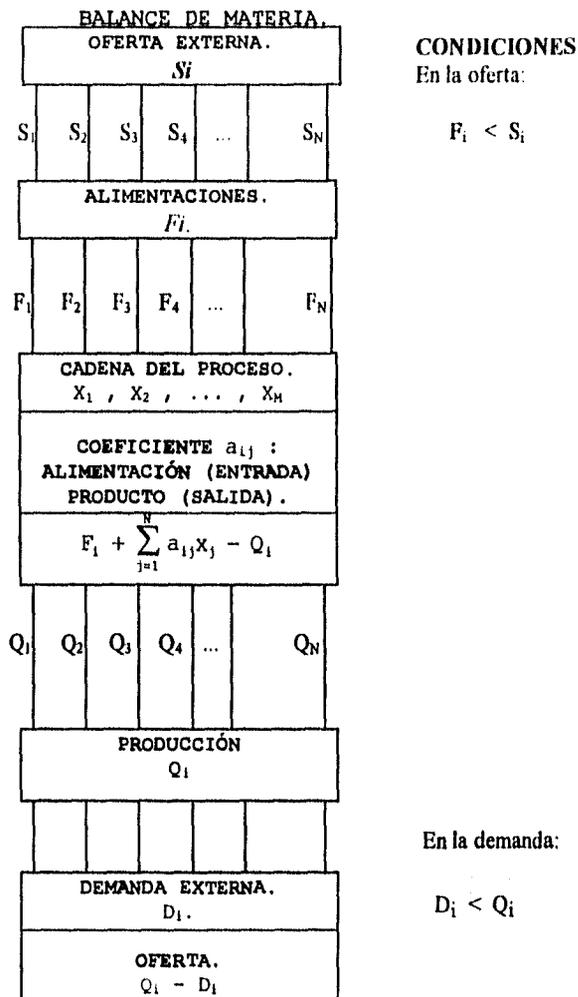
El objetivo de este modelo es minimizar el consumo de las alimentaciones; calcula el costo de las alimentaciones en base al contenido de carbono, y desarrolla un sistema de programación lineal. Este modelo es la base para modelos posteriores.

Treviño<sup>iii</sup> adiciona al modelo de Stadtherr otros factores como: cantidad de energía empleada y requerimientos de inversión. Estos factores son importantes en el cálculo de los costos de producción.

El consumo de energía puede ser considerado equivalente al consumo de combustible, y el tamaño típico de una planta es empleado para calcular las unidades de inversión.

La inversión de una planta no puede considerarse lineal con respecto a su capacidad, pero este modelo está en el contexto de un costo de inversión promedio para tecnologías en común, y no para una planta individual, de esta forma la suposición de linealidad es apropiada.

Fathi-Afshar<sup>iv</sup> desarrolló un modelo con una base económica en vez de usar el contenido de carbono, como una unidad equivalente. Algunas aplicaciones del modelo se muestran en la figura 2. En su modelo adiciona 120 procesos para la manufactura de polímeros, considerando a los monómeros como intermediarios de productos plásticos, fibras y elastómeros que constituyen productos terminales.



**FUNCIÓN OBJETIVO : MINIMIZAR EL COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN.**

$$\text{MIN} \left[ \sum_{i=1}^N P_i F_i + \sum_{j=1}^M C_j X_j + \sum_{i=1}^N (Q_i - D_i)(F_i - H_i) \right]$$

Figura. 2 Modelo económico de la industria química.

Fathi-Afshar y Rudd<sup>1</sup> reportaron el significado de las variables duales asociadas con soluciones óptimas obtenidas por el modelo. Las variables duales reflejan la estructura del precio del químico de una industria óptima, y el doble flujo abastece una medida de la ineficiencia de la tecnología, que no ha sido seleccionada mediante una solución óptima.

Sophos<sup>2</sup> estudio el desarrollo de la industria petroquímica con respecto a la utilización de materia prima y a la eficiencia de energía, tomando como base los modelos de Stadtherr y de Rudd. Para su modelo, Sophos emplea tres funciones objetivo:

- a) mínimo uso de alimentaciones,
- b) óptima utilización de la energía y
- c) mínima pérdida de trabajo.

Para tomar ésta función objetivo se debe considerar simultáneamente la teoría de la programación lineal multiobjetiva; ésta permitirá elegir la mejor estructura industrial y de esta forma la estructura final es generada usando una función objetivo sencilla.

De forma similar se observa que la industria con alimentación mínima fue, en mayor parte la misma que se obtiene empleando otros criterios, esto indica que el criterio de la alimentación es el que representa la mayor fracción de los costos de producción de muchos petroquímicos.

Sokic y Stevacevic<sup>111</sup> estudiaron la interacción de la planeación a corto alcance con la de largo alcance usando programación ciclica. Se basaron en el modelo de Stadtherr y Rudd; elaborando una estructura industrial de largo alcance, para optimizarla emplearon la ley de la oferta y la demanda. Dividen la oferta en fracciones que son proporcionales a las etapas que forman la estructura de largo alcance y emplean una demanda normalizada.

Con estas simplificaciones se hace posible una secuencia de integración para la industria.

Jimenez-Gutiérrez y Rudd<sup>112</sup> emplearon aproximaciones similares, estudiaron las secuencias de integración para la industria Mexicana como un ejemplo del desarrollo económico y emplearon un modelo de programación mezclado-integrado desarrollado por Jimenez-Gutiérrez para obtener una estructura óptima anual.

---

<sup>111</sup>Chemi. Eng. Sc., Vol. 36, pp. 1421-1425, 1981

<sup>112</sup>Chemi. Eng. Sc., Vol. 33, pp. 923-933, 1978

<sup>113</sup>Engineering Cost and Production Economics, 5, pp. 129-142, 1980

<sup>114</sup>Chemi. Eng. Sc., Vol. 40, No. 5, pp. 781-797, 1985

<sup>115</sup>Chemi. Eng. Sc., Vol. 36, No. 9, pp. 1487-1511, 1981

<sup>116</sup>Chemi. Eng. Sc., Vol. 35, pp. 2415-2426, 1980

<sup>117</sup>Chemi. Eng. Sc., Vol. 38, No. 2, pp. 265-273, 1983

<sup>118</sup>Engineering Cost and Production Economics, 5, pp. 163-177, 1981

---

**CAPÍTULO II**

**MODELOS DE PROGRAMACIÓN.**

---

## PROGRAMACIÓN LINEAL.

El término de Programación Lineal define a una clase particular de problemas de optimización, en los cuales las restricciones del sistema pueden ser expresadas como ecuaciones lineales de igualdad y/o desigualdad y la función objetivo es una función lineal de las variables de diseño.

### FORMULACIÓN DE LOS MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL.

La formulación de los modelos de programación lineal se refiere a la construcción del modelo de Programación Lineal a partir de un problema real.

Las etapas básicas involucradas en la formulación del modelo son principalmente: identificar las variables de diseño/decisión, expresar las restricciones del problema como ecuaciones lineales de igualdad o desigualdad, y establecer la función objetivo a maximizar o minimizar como una función lineal.

Después de la formulación de la función objetivo, la siguiente etapa es resolver el problema matemáticamente o mediante una solución gráfica, para obtener la mejor solución posible.

El procedimiento de solución gráfica para resolver problemas de Programación Lineal involucra usualmente dos variables, por ejemplo:

**Minimizar**

$$Z = 40 X_1 + 36 X_2 \quad (1)$$

Sujeto a :

$$X_1 \leq 8 \quad (2a)$$

$$X_2 \leq 10 \quad (2b)$$

$$5 X_1 + 3 X_2 \geq 45 \quad (2c)$$

$$X_1 \geq 0 \quad (2d)$$

$$X_2 \geq 0 \quad (2e)$$

En este problema se deben determinar los valores de las variables  $X_1$  y  $X_2$  que satisfagan todas las restricciones, y obtener el valor más pequeño para la función objetivo.

Como un primer paso en la solución del problema se deben identificar todos los posibles valores de  $X_1$  y  $X_2$  que sean positivos y que satisfacen las restricciones, estos son:  $X_1=8$  y  $X_2=10$ , ambos son positivos y satisfacen todas las restricciones.

Este punto  $(X_1, X_2)$  es llamado solución factible. El conjunto de todas las soluciones factibles es llamada región factible.

La solución de un programa lineal se encuentra dentro de la región factible y se conoce como solución óptima del problema de programación lineal. En el ejemplo la solución óptima se encuentra dentro de la solución factible que minimiza la función objetivo  $Z$ .

El valor de la función objetivo correspondiente a una solución óptima es llamado valor óptimo del Programa Lineal.

Para representar la región factible en una gráfica, figura 1, todas las restricciones son ubicadas en la misma, así como los valores de  $X_1$  y  $X_2$  que satisfacen estas restricciones. Las restricciones positivas implican que todos los valores factibles de las dos variables  $X_1$  y  $X_2$  estarán localizados en el primer cuadrante.

Las restricciones de  $5 X_1 + 3 X_2 \geq 45$ , requiere que cualquier solución factible  $(X_1, X_2)$  para el problema pueda estar al lado derecho de la línea  $5 X_1 + 3 X_2 = 45$ .

La función  $5 X_1 + 3 X_2 = 45$  es la primera en graficarse para tener 2 puntos de inicio  $X_1=0, X_2=15$  y  $X_1=9, X_2=0$

Las líneas se mueven en la dirección indicada por las flechas, es la dirección en la cual se satisfacen todas las restricciones.

De forma similar se grafican las restricciones  $X_1 \leq 8$  y  $X_2 \geq 10$ . La región factible estará dada por la parte encerrada por la región ABC mostrada en la figura 1.

Para identificar el valor factible de la función  $Z = 40 X_1 + 36 X_2$ , que es el valor menor, la función objetivo  $Z$

puede estar representada por una línea recta donde  $Z(X_1, X_2)$  tiene un valor fijado a priori. Cambiando el valor de  $Z$  la línea se traslada paralelamente a través de la región factible.

Cuando esta línea se mueve hasta llegar al origen, el valor de  $Z$  es el mínimo, esto indica que solamente un punto en la región factible (ABC) contiene el valor mínimo de  $Z$ .

Esto ocurre cuando el punto A ubicado en  $X_1=8$  y  $X_2=1.6$  dan el valor mínimo de  $Z$ . Entonces, el punto  $X_1=8$  y  $X_2=1.6$  es una solución óptima y  $Z = 377.6$  es el valor óptimo para el programa lineal.

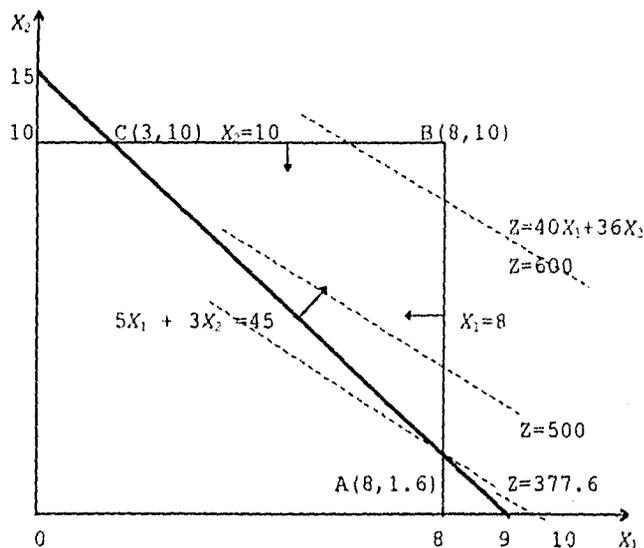


Figura 1. Gráfica de la Región Factible de un Problema de Programación Lineal.

### ESTÁNDAR DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL.

La forma estándar de un problema de programación lineal que tiene  $m$  restricciones y  $n$  variables, puede representarse de la siguiente forma:

**Maximizar o Minimizar:**

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n = \sum_{n=1}^r c_nx_n \quad n=1, 2, \dots, r \quad (3)$$

Sujeto a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m = \sum_{n=1}^r a_{mn}x_n = b_m \quad m=1, 2, \dots, s \quad (4a)$$

$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0 \quad \dots \quad x_n \geq 0 \quad (4b)$$

$$b_1 \geq 0 \quad b_2 \geq 0 \quad \dots \quad b_m \geq 0 \quad (4c)$$

La ecuación (3) sujeta a sus respectivas restricciones tienen más variables que ecuaciones ( $m < n$ ) y consecuentemente el problema tiene un número infinito de soluciones factibles. Entonces, la selección de la mejor solución factible, que minimice  $Z$ , es un problema trivial.

Un método clásico para generar las soluciones a las ecuaciones de las restricciones, es el Método de Eliminación de Gauss-Jordan. El principio básico del Método de Gauss-Jordan es reducir el sistema de  $m$  ecuaciones con  $n$  incógnitas a una forma canónica o a la forma renglón-columna, para realizar operaciones elementales a los renglones.

Una forma canónica reducida usando las primeras  $m$  variables ( $X_1, X_2, \dots, X_r$ ) es:

$$x_1 + \bar{a}_{1,m+1} x_{m+1} + \Lambda + \bar{a}_{1r} x_r + \Lambda + \bar{a}_{1n} x_n = \bar{b}_1 \quad (5a)$$

$$x_r + \bar{a}_{r,m+1} x_{m+1} + \Lambda + \bar{a}_{rr} x_r + \Lambda + \bar{a}_{rn} x_n = \bar{b}_r \quad (5b)$$

$$x_m + \bar{a}_{m,m+1} x_{m+1} + \Lambda + \bar{a}_{mr} x_r + \Lambda + \bar{a}_{mn} x_n = \bar{b}_m \quad (5c)$$

Las variables  $X_1, \dots, X_n$  que aparecen con coeficientes unitarios en solamente una ecuación y con ceros en las demás ecuaciones son llamadas variables básicas o dependientes.

En la forma canónica, se tiene una variable básica en cualquier ecuación. Las otras  $n-m$  variables ( $X_{m+1}, \dots, X_n$ ) son llamadas variables independientes o no-básicas.

La ventaja de obtener la forma canónica es que se pueden obtener soluciones múltiples para las ecuaciones de las restricciones mediante la simplificación de los diferentes valores de las variables independientes y, se resuelve el sistema canónico para las variables dependientes.

Existen dos tipos de operaciones elementales para los renglones, que se utilizan para obtener la forma canónica:

1. Multiplicar cualquier ecuación en el sistema por un número positivo o negativo.
2. Adicionar a cualquier ecuación un múltiplo constante (positivo o negativo) de cualquier ecuación del sistema.

La solución obtenida a partir del sistema canónico mediante el conjunto de variables independientes o no-básicas para cero es llamada solución básica.

Por ejemplo, para el sistema (5) una solución básica esta dada por:

$$x_1 = \bar{b}_1, \Lambda x_m = \bar{b}_m, x_{m+1} = \Lambda = x_n = 0 \quad (6)$$

Si los valores de  $\bar{b}_1, \Lambda, \bar{b}_m$  son positivos, entonces la solución básica puede ser llamada solución básica factible.

En el sistema (5), la forma canónica se obtiene usando la primer variable  $m$  como variable básica. La elección de  $x_1, \dots, x_m$  como variables básicas es por conveniencia.

Como se sabe, con  $m$  restricciones y  $n$  variables, el máximo número de soluciones básicas para el programa lineal en su forma estándar es finito y esta dado por:

$$\binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (7)$$

Por definición, cualquier solución factible básica es también una solución básica. Entonces, el máximo número de soluciones factibles básicas esta también limitado por la ecuación (7); de esta manera mediante el método Simplex, los

programas lineales se pueden resolver de una manera eficiente examinando unicamente una fracción del total de las soluciones factibles.

### **MÉTODO SIMPLEX.**

El método Simplex que fue desarrollado por G.B. Dantzig es un procedimiento interactivo para resolver problemas de Programación Lineal expresados en su forma estándar. Para la forma estándar, el método Simplex requiere que las ecuaciones de las restricciones estén expresadas en su forma canónica para poder obtener realmente la solución factible básica. Las etapas generales para el método Simplex son las siguientes:

1. Iniciar con una solución básica factible en su forma canónica.
2. Continuar con la solución inicial si es posible para encontrar otra solución básica factible con un mejor valor para la función objetivo. En esta etapa el método Simplex elimina implícitamente aquellas soluciones factibles básicas que están más lejos de la solución factible básica inicial.
3. A continuación se encuentra la mejor solución factible básica que mejore los valores de la función objetivo. Cuando en particular una solución factible básica no puede ser mejorada entonces se tiene una solución óptima, y el método Simplex se concluye.

En la etapa 2 del método Simplex se asume que la solución básica dada por el sistema de ecuaciones (5) de la sección anterior, es factible.

Entonces, se tiene una solución factible básica inicial en su forma canónica, como a continuación:

$$\text{Básica: } x_i = \bar{b}_i \geq 0 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$\text{No-básica: } x_j = 0 \quad \text{para } j = m+1, \dots, n \quad (9)$$

El conjunto de variables básicas es llamado *bases* y puede ser denotado por  $x_B$ , los coeficientes de la función objetivo se denotan como  $c_B$ . Para las bases iniciales:

$$x_B = (x_1, x_2, \Lambda, x_m) \quad \text{y} \quad (10a)$$

$$c_B = (c_1, c_2, \Lambda, c_m) \quad (10b)$$

Entonces las variables no-básicas son cero, y el valor de la función objetivo  $Z$  correspondiente a la solución factible básica inicial estará dada por:

$$Z = c_B x_B = c_1 \bar{b}_1 + \Lambda + c_m \bar{b}_m \quad (11)$$

Dado esto, el método Simplex checa si es posible encontrar la mejor solución factible básica con el valor mayor de  $Z$ . Esto se hace examinando si la solución presente es óptima.

En el caso de que la solución sea no-óptima, el método Simplex obtiene una solución factible básica adyacente con el valor mayor de Z.

Para obtener una solución factible básica adyacente, el método Simplex hace una de las variables básicas, variable no-básica y coloca a una variable no-básica en el lugar de una variable básica. El problema es seleccionar la variable básica y no-básica apropiadas tal que el cambio entre ambas dé el valor máximo a la función objetivo.

Con cualquier solución factible básica, las variables básicas pueden asumir valores positivos mientras que las variables no-básicas tienen siempre el valor de cero. Entonces, hacer una variable no-básica, variable básica es equivalente a incrementar su valor desde cero hasta cualquier valor positivo.

Por ejemplo, si consideramos a la variable no-básica  $x_s$ , e incrementamos su valor de 0 a 1, analizando el efecto que tiene este incremento sobre la función objetivo, se deben examinar solamente las soluciones factibles básicas adyacentes y el valor de las otras variables no-básicas puede seguir siendo cero, entonces el sistema de ecuaciones (5) puede reescribirse como:

$$x_1 + \bar{a}_{1s} x_s = \bar{b}_1 \quad (12a)$$

$$x_r + \bar{a}_{rs} x_s = \bar{b}_r \quad (12b)$$

$$x_m + \bar{a}_{ms} x_s = \bar{b}_m \quad (12c)$$

Para el sistema (12) se obtiene una nueva solución, donde  $x_s$  se incrementa de 0 a 1:

$$x_i = \bar{b}_i - \bar{a}_{is} \quad \text{para } i = 1, \dots, m \quad (13a)$$

$$x_j = 1 \quad \text{para } j = m+1, \dots, n \quad \text{y} \quad (13b)$$

$$x_j = 0 \quad j \neq s$$

El nuevo valor de la función objetivo es:

$$Z = \sum_{i=1}^m c_i (\bar{b}_i - \bar{a}_{is}) + c_s \quad (14)$$

Entonces, el cambio neto en el valor de  $z$  por incremento unitario en  $x_s$ , denotado por  $\bar{c}_s$ , es:

$$\bar{c}_s = \text{valor nuevo de } Z - \text{valor anterior de } Z$$

$$\bar{c}_s = \sum_{i=1}^m c_i (\bar{b}_i - \bar{a}_{is}) + c_s - \sum_{i=1}^m c_i \bar{b}_i$$

$$\bar{c}_s = c_s - \sum_{i=1}^m c_i \bar{a}_{is} \quad (15)$$

$\bar{c}_s$  es llamada ganancia relativa de la variable no-básica  $x_s$ , opuesto a la ganancia actual de  $c_s$  en la función objetivo.

Si  $\bar{c}_s > 0$ , entonces la función objetivo  $Z$  puede incrementarse más haciendo a  $x_s$  variable básica. La ecuación (15) da la forma de calcular la ganancia relativa, y es conocida como Regla del Producto Inerte.

El coeficiente de ganancia relativa de una variable no-básica  $x_j$ , se denota por  $\bar{c}_j$ , y se calcula como:

$$\bar{c}_j = c_j - c_B \bar{P}_j \quad (16)$$

donde  $C_B$  corresponde a los coeficientes de ganancia de las variables básicas y  $\bar{P}_j$ , corresponde a la  $j$ th columna en el sistema canónico en consideración.

### TEORÍA DE LA DUALIDAD.

Algunos de los avances en Programación Lineal son la Teoría de la Dualidad, el Método Simplex Dual y la Programación Entera.

La teoría de la dualidad es uno de los conceptos más usados en programación lineal. La idea básica es que cualquier programa lineal tiene asociado un programa llamado Dual, tal que una solución para uno da la solución para el otro.

Las relaciones de Dualidad son aplicables tanto a problemas de programación Lineales como No-Lineales.

Las ideas fundamentales de la Teoría de la Dualidad pueden obtenerse directamente de la Transformada Dual de Legendre (Lanzos), para ejemplificarlo consideraremos dos ejemplos de problemas de programación lineal:

I) Maximizar:

$$P = \sum_{n=1}^N C_n X_n \quad (17)$$

suje to a:

$$\sum_{n=1}^N A_{mn} X_n \leq B_m \quad m = 1, K, M \quad (18)$$

$$X_n \geq 0 \quad n = 1, K, \quad (19)$$

II) Minimizar:

$$Y = \sum_{m=1}^M B_m Z_m \quad (20)$$

suje to a:

$$\sum_{m=1}^M A_{mn} Z_m \geq C_n \quad n = 1, K, \quad (21)$$

$$Z_m \geq 0 \quad m = 1, K, M \quad (22)$$

donde  $C_n$ ,  $B_m$  y  $A_{mn}$  son constantes. Los problemas I y II son llamados problemas de programación lineal Dual, donde cada uno es el Dual del otro.

La naturaleza de la dualidad puede derivarse al escribir las funciones de Lagrange del problema I y II y de calcular las derivadas parciales apropiadas.

Si designamos al multiplicador lagrangiano para el primer problema como  $\lambda_n$ , encontramos que las condiciones de optimalidad del problema son:

$$X_n \left( C_n - \sum_{m=1}^M \lambda_m A_{mn} \right) = 0 \quad n = 1, K, \quad (23)$$

$$\left( C_n - \sum_{m=1}^M \lambda_m A_{nm} \right) \leq 0 \quad n = 1, K, \quad (24)$$

$$F_m \lambda_m = 0 \quad m = 1, K, M \quad (25)$$

$$\lambda_m \geq 0 \quad m = 1, K, M \quad (26)$$

donde  $F_m$  es la variable débil para la ecuación (18).

Como se puede observar las ecuaciones (24) y (26) son las restricciones de las ecuaciones (21) y (22) del problema dual II, y los multiplicadores de Lagrange  $\lambda_m$  son las variables de decisión,  $Z_m$ , del problema.

Las ecuaciones (23) y (25) son las condiciones débiles complementarias, lo que nos indica que las variables de decisión,  $X_n$ , del problema "Principal I", son los multiplicadores de Lagrange para las restricciones del problema II, y las ecuaciones (18) y (19) son las condiciones óptimas del problema II.

Lo anterior demuestra que las condiciones "factibles" de la solución Dual son también las condiciones óptimas de la solución "Principal" y viceversa. De este modo, para cualquier problema de programación lineal, los valores (absolutos) de las variables duales estarán dados por los coeficientes sensitivos correspondientes a las variables débiles del Problema "Principal"; estos valores pueden ser opuestos en signo, dependiendo de la dirección de las restricciones de desigualdad y de la función objetivo que será minimizada o maximizada.

Al introducir la variable débil  $F_m$  y  $W_n$  dentro de las ecuaciones de restricción (18) y (21) respectivamente, y multiplicando primero por  $Z_m$  y después por  $X_n$ ; y sumando las ecuaciones resultantes sobre las variables  $m$  y  $n$  respectivamente, obtenemos:

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{mn} X_n Z_m + \sum_{m=1}^M F_m Z_m = \sum_{m=1}^M B_m Z_m \quad (27)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M A_{mn} Z_m X_n - \sum_{n=1}^N W_n X_n = \sum_{n=1}^N C_n X_n \quad (28)$$

La doble suma es igual en ambas ecuaciones, por lo que al sumarlas y reorganizar los términos se obtiene:

$$\sum_{m=1}^M B_m Z_m - \sum_{m=1}^M F_m Z_m = \sum_{n=1}^N C_n X_n + \sum_{n=1}^N W_n X_n \quad (29)$$

si sabemos que:  $Z_m = \frac{\partial P}{\partial F_m}$ , y que el producto de  $F_m Z_m$  para  $m = 1, K, M$  es cero, entonces  $F_m$  no es cero, ya que es el estado de la variable por lo que  $Z_m$  debe ser cero, sin embargo, si  $Z_m$  no es cero, entonces  $F_m$  puede ser una variable de decisión y por ende tendrá un valor de cero.

Un argumento análogo se hace para el producto  $W_n X_n$  que puede también ser cero, entonces  $X_n = \frac{\partial Y}{\partial W_n}$ , lo que nos conduce a concluir que:

$$\sum_{n=1}^N C_n X_n = \sum_{m=1}^M B_m Z_m \quad (30)$$

lo que corresponde a una solución factible y óptima para el problema I o II, todas las  $X$  y  $Z$  en la ecuación (30) pueden ser no-negativas.

La solución que puede ser factible pero no óptima para el problema I son las variables duales  $Z$ -, las cuales dan una solución óptima pero no factible para el problema II, y viceversa. Cuando un problema de programación lineal se resuelve usando el método simplex, la tabulación de los resultados contiene la solución óptima y factible para ambos problemas, el "Dual" y el "Principal".

Hay un número importante de relaciones entre la solución del problema original y de su problema dual; la solución óptima dual puede ser interpretada como un precio que se paga por un recurso con restricciones, el cual es conocido como precio estimado.

Los precios estimados, representan un incremento en los costos de producción en una unidad más del producto, es decir, representan el costo de producir una unidad extra de los productos.

La Programación Entera se utiliza para resolver problemas de Programación Lineal que requieren soluciones enteras en algunas de sus variables. Por ejemplo, no es posible emplear un número fraccional de trabajadores o de producir un número fraccional de automóviles.

Las soluciones de problemas de programación entera son difíciles de obtener; tanto por el exceso de tiempo para obtenerlas, como en su elevado costo. Entonces, una aproximación práctica es el tratar a todas las variables

enteras como continuas y resolver el programa lineal asociado mediante el Método Simplex.

Cuando se resuelve el problema, el Método Simplex puede producir soluciones fraccionarias para algunas variables enteras, entonces por lo general el valor se redondea al entero más próximo tal que la restricción no sea violada. Esto es muy usado en la práctica, y en general produce una buena solución, especialmente cuando los valores de las variables enteras son grandes.

Existen situaciones en que la formulación del modelo requiere emplear variables enteras binarias, las cuales pueden tomar solamente los valores de 0 y 1. En estos casos las soluciones que se obtienen son malas, y son necesarias otras técnicas para determinar la solución entera óptima directamente, estas técnicas pueden ser la Programación Multiobjetivo.

## PROGRAMACIÓN MULTIOBJETIVO.

Tradicionalmente los problemas de optimización han sido resueltos usando funciones objetivo escalares; cuando más de una función objetivo se identificaba, se podían considerar objetivos independientes y resolver un objetivo aislado usando las técnicas estándar de programación matemática; por ejemplo los costos de inversión y de operación son objetivos que dependen uno del otro, pero que se trataban como objetivos independientes.

Estos problemas usualmente generaban una solución óptima sencilla, la cual podría no ser óptima para todos los objetivos encontrados.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Considerar las tres funciones objetivo  $\phi_1(z)$ ,  $\phi_2(z)$  y  $\phi_3(z)$ , que representan el cambio en la factibilidad termodinámica, el trabajo perdido y el consumo de carbón respectivamente. Entonces el problema multiobjetivo se puede definir como:

Minimizar:

$$\phi^T = [ - \phi_1(z), \phi_2(z), \phi_3(z) ] \quad (31)$$

Sujeto a:

$$r \leq s \quad (32a)$$

$$p \geq d \quad (32b)$$

$$h(z) = r + Ax - p = 0 \quad (32c)$$

donde  $z$  es el vector de composición:

$$z^T = [x^T, p^T, r^T] \quad (33)$$

Para simplificar las restricciones se combinan las dos desigualdades (32a), (32b) en una:

$$g(z) \equiv \begin{bmatrix} r - s \\ -p + d \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (34)$$

En estos casos usualmente el número de funciones objetivo es mucho menor comparado con la dimensión del vector de decisión. Entonces la función objetivo del problema es un vector función objetivo, la solución óptima ideal no existe y la notación de minimización no está definida.

Si denotamos por  $D$  al conjunto que satisface las restricciones (32a), (32b) y (32c) del problema:

$$D = \{z \mid g(z) \leq 0, h(z) = 0\} \quad (35)$$

La imagen  $\Phi$  del espacio de decisión  $D$  multiplicado por  $\phi(z)$  es llamado espacio objetivo  $\Phi$ :

$$\Phi = \{ \phi(z) \mid z \in D \} \quad (36)$$

Un vector  $z$  puede ser una solución óptima si todos los objetivos presentan su valor mínimo simultáneamente.

Sin embargo, una solución óptima no existe en general, es decir, no se puede determinar ningún vector  $z$  que haga posible que todos los objetivos asuman su valor mínimo posible. Las soluciones aceptables se encuentran en forma de soluciones no-inferiores o soluciones de Pareto.

Una solución  $\bar{z} \in D$  para el problema de minimización puede ser llamada no-inferior si ninguna disminución en cualquier objetivo se obtiene al mismo tiempo que un incremento en los demás objetivos. Es decir, el punto  $\bar{z} \in D$  es una solución no-inferior para el problema si no existe ningún  $\bar{z} \in D$  tal que:

$$\phi_k(\bar{z}) \leq \phi_k(\bar{z}) \quad \text{para } k = 1, 2, 3 \quad (37a)$$

$$\phi_k(\bar{z}) < \phi_k(\bar{z}) \quad \text{para igual } k = 1, 2, 3 \quad (37b)$$

De este modo el punto no-inferior  $\bar{z}$  no es necesariamente único y el conjunto de todas las soluciones no-inferiores es llamado Set No-inferior.

### CASO DE DOS FUNCIONES OBJETIVO.

Las dos funciones objetivo que consideraremos son: trabajo perdido y consumo de materia prima, ambas son de gran importancia pues representan el estado de la industria petroquímica. Otra forma es considerar simultáneamente la eficiencia de utilización de masa y energía; excluyendo en esta etapa el objetivo de la factibilidad termodinámica. Las soluciones optimas para los problemas individuales se encuentran fácilmente, mediante un estudio simultáneo de ambas funciones objetivo.

El conjunto no-inferior para estos dos objetivos se muestra en la figura 2.

La evaluación de la función objetivo se normaliza dividiendo su valor entre el valor mínimo encontrado mediante la consideración de una función objetivo sencilla. Los puntos A y B representan estructuras que operan en el máximo de un objetivo sencillo, por ejemplo la eficiencia para el consumo de materia prima y de trabajo perdido respectivamente.

Nótese que el mínimo consumo de materia prima (punto A) opera sobre el mínimo del trabajo perdido, y el mínimo del trabajo perdido (punto B) opera sobre el mínimo del consumo de materia prima. Si deseamos operar al 1% sobre el mínimo de consumo de materia prima (punto D), el consumo de energía (trabajo perdido) disminuye desde 19.3% hasta 6% sobre el mínimo trabajo perdido, (punto E), entonces debemos operar solamente al 4.3% sobre el mínimo consumo de materia prima (comparada con el 9.3%).

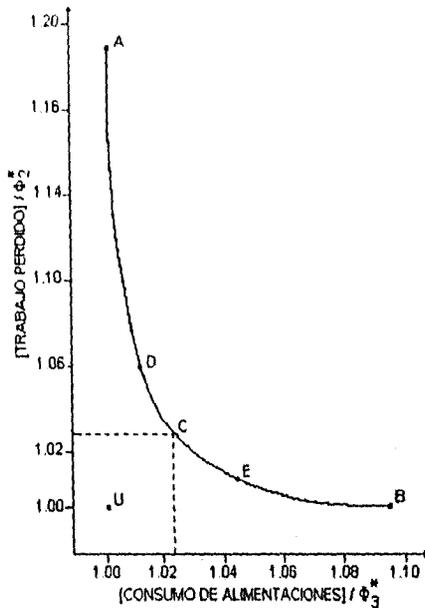


Figura 2. Set No-Inferior para los objetivos  
Trabajo Perdido - Consumo de Alimentación.

Finalmente si trabajamos ambos objetivos equivalentemente, entonces la estructura que corresponde a C opera a 2.5% sobre ambos, el mínimo de trabajo perdido y del consumo de materia prima.

Para poder trabajar con una decisión aceptable ubicada dentro del rango de A a B solamente se requiere conocer a cuanto equivale un incremento del mínimo de un objetivo en los otros, con un cierto margen sobre el mínimo de los otros objetivos.

**CASO DE TRES FUNCIONES OBJETIVO.**

Los procesos reales son claramente irreversibles, por lo que se espera que el objetivo de factibilidad establezca importantes restricciones a nuestro sistema. El espacio dimensional de los tres objetivos se muestra en la figura 3.

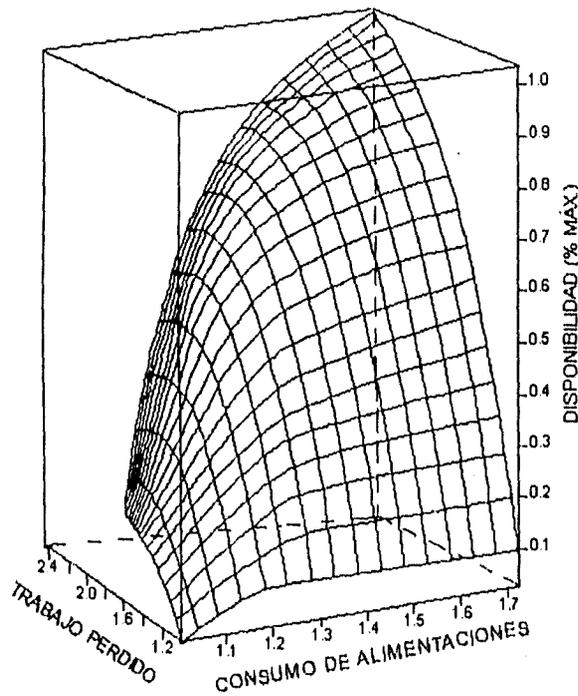


Figura 3. Espacio Objetivo  $\Phi$  para tres funciones objetivo

$$\phi_1, \phi_2, \phi_3.$$

Para ilustrar claramente el Set No-inferior, el espacio objetivo se proyecta en dos planos.

La figura 4 muestra la proyección sobre el trabajo perdido y el plano del consumo de materia prima, con el objetivo de factibilidad variando paraméricamente.

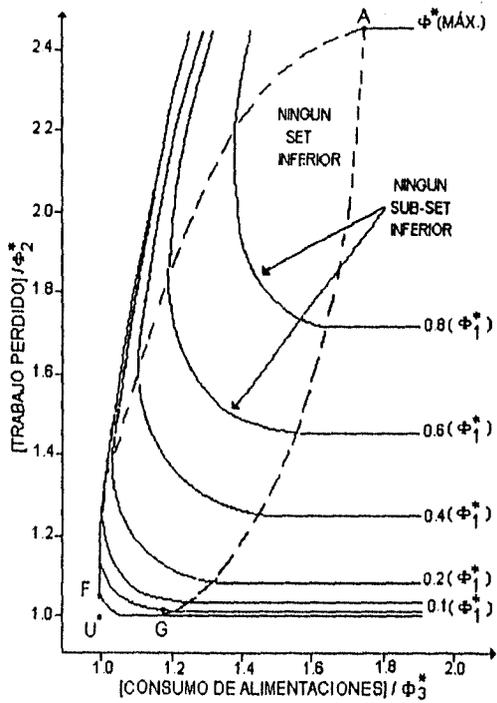


Figura 4. Sub-sets No-inferiores para un cambio constante en la Disponibilidad.

CAPITULO II  
MODELOS DE PROGRAMACION.

---

Similarmente, la figura 5 es la proyección sobre la factibilidad, el plano del trabajo perdido, con el aumento de materia prima como parámetro.

El punto A en la figura 4 representa la máxima factibilidad para cambiar la solución. Para esta estructura los valores del consumo de materia prima y de trabajo perdido son 73% y 149% sobre su máximo respectivamente. Notese que el efecto de la factibilidad sobre el trabajo perdido es mucho más pronunciado que los efectos sobre el consumo de materia prima. Esto se debe a la gran diferencia entre las estructuras de la factibilidad óptima y el óptimo del trabajo perdido, esto se estudia con mayor facilidad si consideramos un objetivo de estudio sencillo.

Si deseamos operar al 10% de incremento sobre el mínimo valor del consumo de materia prima y del trabajo perdido, entonces el cambio en la factibilidad puede ser mayor que el 90% de su valor máximo.

Esta ganancia podría ser la manifestación del factor que representa el proceso real sobre la no-idealidad e irreversibilidad para un gran excedente.

La relación de los dos objetivos termodinámicos se muestra en la figura 5. Ahí se observa que esto es imposible para una estructura en la cual existe un trabajo perdido relativamente pequeño y un gran cambio en la factibilidad para cualquier consumo de materia prima lo cual es otra consecuencia de la irreversibilidad del proceso real, también demuestra que el exceso de irreversibilidad no es función del valor de la factibilidad.

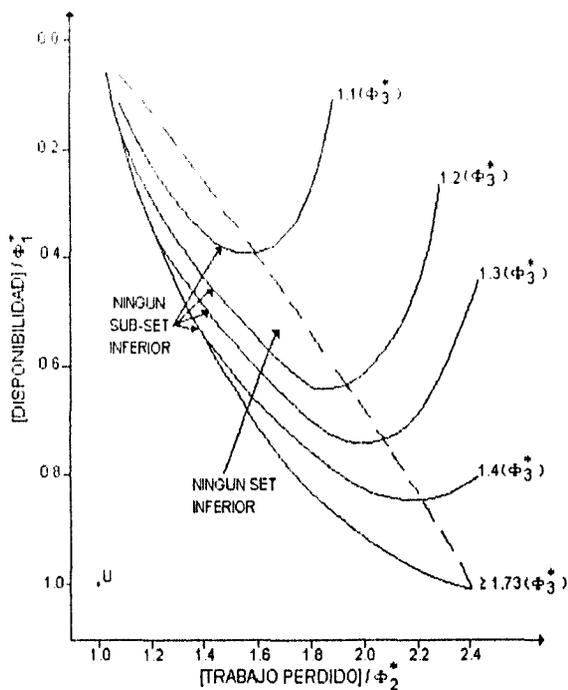


Figura 5. Sub-sets No-inferiores para Consumos de Alimentación Constantes.

Así mismo, demuestra como aprovechar la factibilidad máxima (punto A en la figura 4) o el mínimo en el consumo de materia prima (punto U de la figura 4), los subgrupos no-inferiores son progresivamente más estrechos.

Esto es debido a las restricciones que tiene el sistema por requerimientos de mayor eficiencia en la operación, con respecto a ciertos objetivos.

También en la figura 5, se muestra que el área inferior del subgrupo no-inferior corresponde a 1.73 veces el consumo de materia prima.

### MODELO MATEMÁTICO EMPLEADO.

El modelo matemático empleado retoma el primer modelo elaborado por Stadtherr y Rudd, y se emplea extensamente como una herramienta para la localización de los recursos en la industria petroquímica, en la distribución de tecnologías petroquímicas, en investigaciones de aspecto termodinámico y en el análisis multiobjetivo del modelamiento de la industria petroquímica.

La industria petroquímica es considerada como un sistema constituido por 254 transformaciones químicas (elementos potenciales) que producen o consumen 105 petroquímicos.

El modelo matemático consiste de una ecuación lineal de balance de materia:

$$P_i + \sum_{j=1}^{254} A_{ij} X_j = Q_i \quad i = 1, 2, \dots, 105 \quad (38)$$

con las restricciones:

$$P_i \leq S_i, \quad i = 1, 2, \dots, 105 \quad (39a)$$

$$Q_i \geq D_i, \quad i = 1, 2, \dots, 105 \quad (39b)$$

$$X_j \leq C_j, \quad j = 1, 2, \dots, 254 \quad (39c)$$

CAPITULO II  
MODELOS DE PROGRAMACIÓN.

---

donde:

- $P_i$  representa la cantidad de químico  $i$  empleado como materia prima;
- $Q_i$  representa la cantidad de químico  $i$  formado como producto final;
- $X_j$  representa la cantidad de transformación de  $j$  empleado por la industria (capacidad del proceso con respecto al producto principal);
- $A_{ij}$  representa la cantidad de químico  $i$  producido o consumido por unidad de  $j$  transformado;
- $S_i$  representa la oferta del químico  $i$ ;
- $D_i$  representa la demanda del químico  $i$ , y
- $C_j$  representa la capacidad disponible de transformación de  $j$ .

Las variables  $P_i$ ,  $Q_i$ ,  $X_j$  están dadas en KT/año. Los coeficientes  $A_{ij}$  están dados en KT de químico  $i$  por KT de producto principal producido por el proceso  $j$ .

Los químicos que constituyen el modelo están listados, numerados y clasificados de acuerdo a su función potencial en la TABLA 1 y, las transformaciones químicas están listadas y numeradas en la TABLA 2 (ver el APÉNDICE A).

La función potencial del químico esta determinada asumiendo que las materias primas principales son derivados del petróleo y del gas natural, como la única entrada, y los productos finales necesarios en la industria, como la única salida (producción) del sistema.

Cada transformación química está representada por el número correspondiente al producto principal y a la materia prima de la TABLA 1; además es adicionado un número de

identificación adicional para los casos en que exista más de una ruta de reacción, para producir un producto en particular a partir de la misma materia prima; las diferentes rutas se listan en la TABLA 3 y en el Apéndice A.

No.	QUÍMICO	FUNCIÓN
1	ACETALDEHIDO	IP
2	ÁCIDO ACÉTICO	IP
3	ANHÍDRIDO ACÉTICO	IP
4	ACETONA	IP
5	ACETILENO	IP
6	ACROLEÍNA	I
7	ÁCIDO ACRÍLICO	P
8	ACRILONITRILO	IP
9	ÁCIDO ADÍPICO	IP
10	ADIPONITRILO	I
11	ALQUILBENCENOS (LINEALES)	P
12	ALQUILBENCENOS (RAMIFICADOS)	P
13	ALCOHOL ALILÍCO	I
14	CLORURO DE ALILO	I
15	AMONIACO	IP
16	ANILINA	IP
17	BENCENO	RI
18	ÁCIDO BENZOICO	IP
19	BISFENOL-A	P
20	BUTADIENO	IP

Tabla 1. Químicos incluidos en el modelo.  
 (R=Materia Prima, I=Intermediario y P=Producto final)

Las transformaciones químicas listadas son procesos comerciales usados a gran escala. Algunos procesos obsoletos son incluidos para hacer el modelo adaptable a diferentes cambios en el sistema.

La mayoría de los datos producidos son usados para estimar los coeficientes de entrada-salida (input-output),  $A_{ij}$ . El modelo usa una producción promedio reportada en instalaciones comerciales.

No.	A	B	C
1	1	48	
2	1	44	2
3	1	44	1
4	1	87	
5	1	21	
6	1	5	
7	2	21	
8	2	1	
9	2	78	
10	2	69	
11	2	24	
12	3	2,66	
13	3	1	
14	3	2,5	
15	4	65	2
16	4	65	1
17	4	88	
18	4	5	
19	4	44	
20	4	2	

Tabla 2. Lista de las transformaciones químicas.

(A y B son números de producto principal y de materia prima respectivamente para la TABLA 1 y C es un número de identificación para la TABLA 3).

Los valores de  $S_i$  y  $D_i$ ; para las ecuaciones (39a), (39b) y (39c); deben ser lo menos aproximados para que muestren la posición futura más probable de la oferta y la demanda en el desarrollo de las ciudades o regiones.

La suposición hecha es que el desarrollo industrial impone cierta estructura característica de la oferta y la demanda de petroquímicos, lo cual es independiente del volumen total de la producción petroquímica. Por consiguiente, la estructura actual de la oferta y la demanda dentro del desarrollo industrial esta expresada por las fracciones masa

respecto a un petroquímico en particular, en el total de la oferta y la demanda, y esta puede ser considerada con una estructura futura probable de la oferta y la demanda de las economías en desarrollo.

C	Transformación Química	C	Transformación Química
1	Oxidación	13	Oxicloración
2	Deshidrogenación	14	Hidratación
3	Pirólisis	15	Sulfonación
4	Cloración	16	Clorohidratación
5	Cianuración	17	Reformado de vapor
6	Alquilación	18	Amoxidación
7	Hidrodealquilación	19	Deshidrocloración
8	Desproporciónación	20	Hidrólisis alcalina
9	Deshidrogenación oxidativa	*	Procesos de Arco
10	Reacción con hidroxilamina	**	Combustión parcial
11	Nitrosaturación	#	Alta severidad
12	Nitración	##	Baja severidad

Tabla 3. Lista de las alternativas de transformación química correspondientes al número de identificación.

Siguiendo estas suposiciones, para la estimación de las constantes de producción,  $D_i$ , los valores de producción y los modelos usados se emplean para todos los productos finales, y para la demanda externa. Las fracciones masa de la demanda para cada producto en la demanda total son calculados por la ecuación:

$$F_i = \frac{D_i}{\sum D_i} \quad (40)$$

Los valores promedio de  $F$  son calculados usando solamente los valores mayor y menor de cada uno. Las estructuras obtenidas de la demanda son, por conveniencia, transferidas dentro del correspondiente conjunto de valores de  $D$ , multiplicando los valores de  $F_i$  promedio por la demanda total de productos se obtiene un mercado hipotético.

Cuando el análisis es aplicado a un mercado de cualquier petroquímico, él cual se desarrollará en el futuro, el modelo es fácilmente adaptado multiplicando los valores de  $F_i$  por la demanda total que ha sido predecida como producto final.

#### **OBJETIVOS DE DESARROLLO A CORTO Y LARGO ALCANCE.**

La relación entre objetivos de desarrollo a corto y largo alcance se investiga comparando la estructura del sistema óptimo obtenido por dos diferentes procedimientos.

El primero es un procedimiento de etapa sencillo adecuado para los objetivos de desarrollo de largo alcance; las primeras etapas de desarrollo fueron aplicables a plantas petroquímicas para ser construidas en un largo período de tiempo, en orden para predecir la demanda de productos petroquímicos en el futuro.

El procedimiento de la etapa sencilla consiste en resolver el problema de programación lineal definido por la ecuación (38) y las restricciones (39a, 39b, 39c), con los objetivos de minimización de consumo de materia prima para un modelo dado de la oferta y la demanda externa de algún petroquímico.

La función objetivo empleada es:

$$\sum_i \alpha_i p_i \rightarrow Min. \quad (41)$$

donde  $\alpha_i$  denota la fracción masa de carbón en el químico  $i$ .

La solución en Programación Lineal (LP) consiste en la combinación óptima de variables  $(P_{i_{opt}}, Q_{i_{opt}}, X_{j_{opt}})$  donde se establece que los valores de  $X_{j_{opt}}$  constituyen la estructura del sistema óptimo, el cual corresponde al último propósito de desarrollo de larga escala, originando que el modelo futuro de la oferta y la demanda se asemeje al predicho por los valores de  $S_i$  y  $D_i$ .

El otro procedimiento empleado es el de multietapas, el cual consiste de varias etapas de optimización sucesivas, cada una de ellas esta determinada por un objetivo de desarrollo de corto alcance.

Estas aproximaciones requieren ciertas modificaciones en el problema de programación lineal definido previamente, con consideraciones para las constantes y las funciones objetivo usadas.

Las constantes del tipo:		Cambian a:	
$Q_i \geq D_i$	→	$D_i^{k-1} \leq Q_i^k \leq D_i^k$	(42a)
$P_i \leq S_i$	→	$S_i^{k-1} \leq P_i^k \leq S_i^k$	(42b)
$X_j \leq C_j$	→	$C_j^{k-1} \leq X_j^k \leq C_j^k$	(42c)

donde  $k = 1, \dots, K$  indican la etapa de optimización actual.

En cada etapa las constantes son modificadas con respecto a los resultados de la etapa anterior. Así, para  $k=2, \dots, K$ :

$$D_i^{k-1} = Q_{i,opt}^{k-1} \quad (43a)$$

$$S_i^{k-1} = P_{i,opt}^{k-1} \quad (43b)$$

$$C_j^{k-1} = X_{j,opt}^{k-1} \quad (43c)$$

Los valores de  $S_i^k$  corresponden a la supuesta disponibilidad de materia prima de cada etapa y son calculados por la siguiente ecuación:

$$S_i^k = \left(\frac{k}{K}\right) P_{i,opt} \quad (44)$$

donde  $P_{i,opt}$  representa los valores óptimos de las variables de entrada obtenidos por el procedimiento de la etapa sencilla.

Los valores inicial y final de las constantes son:

$$D_i^0 = S_i^0 = C_j^0 = \quad (45)$$

$$D_i^K = D_i \quad (46a)$$

$$S_i^K = + P_{i,opt} \quad (46b)$$

$$C_j^K = C_j = +\infty \quad (46c)$$

los valores de  $D_i$  y  $C_i$  son los mismos que se emplean en el procedimiento de la etapa sencilla.

La función objetivo usada en el procedimiento de multietapas es:

$$\sum_i \beta_i h_i^k Q_i^k \rightarrow \text{Max} \quad (47)$$

donde  $\beta_i$  denota la fracción de masa total de carbono e hidrógeno en el químico  $i$ .

El objetivo de maximización del sistema total de producción de cada etapa esta dado en términos de contenido de hidrocarburo,  $\beta_i$ .

También, la nueva etapa de coeficientes  $h_i^k$ , se introduce para dar preferencia a la producción del producto petroquímico más importante. La relativa importancia de los productos se establece en cada etapa mediante la fracción masa del producto deseado en la demanda total de productos, lo cual esta siendo satisfecho por la actual y la siguiente etapa de optimización:

$$h_i^k = \frac{D_i^k - D_i^{k-1}}{\sum_i (D_i^k - D_i^{k-1})} \quad (48)$$

Los valores de  $h_i^k$  usados en la primera etapa, al igual que los valores de  $F_i$  mencionados previamente, tienen su relevancia por la selección de productos con valores relativamente altos de:

$$h_i^1 = F_i \quad (49)$$

El procedimiento de multietapas descrito corresponde a la sucesividad, planeación de desarrollo de corta etapa, donde cada etapa denota un período de años diferente, y da la lista de capacidades de planta que están siendo construidas, en orden para encontrar la demanda actual de varios productos importantes. Las etapas particulares no están definidas por períodos de tiempo fijos, pero si en términos de cantidades viables de materia prima principal. La estructura del sistema obtenida en la etapa final, puede ser considerada como una consecuencia de los efectos acumulados en los objetivos de corto alcance.

#### LIMITACIONES DEL MODELO.

Los modelos de programación lineal descritos anteriormente pueden ser usados para calcular los costos de producción de los precios o costos estimados. En el modelo, la demanda del producto actúa como una fuerza dirigida por la producción de químicos. Para cada proceso existen datos acerca de su balance de masa, su consumo de energía y de sus requerimientos de inversión. Cuando se selecciona un proceso por el algoritmo, los costos de energía e inversión son cuantificados en la función objetivo, pero éstos no forman parte de los costos directos de las materias primas, a menos que formen parte de la alimentación. Esto es debido al efecto que la alimentación tiene en la materia prima, que esta incluida en la función objetivo; los productos intermedios no tienen un valor explícito; y el precio estimado puede usarse como un valor inicial del costo de un producto intermedio.

A pesar de eso, la presencia en este tipo de modelos de a) coproductos y b) vías distintas para producir la misma molécula, pueden originar las siguientes situaciones:

1.-Que los coproductos afecten el cálculo de los precios estimados, si el coproducto está en exceso no se puede acreditar un valor para este, y si el coproducto no está en exceso entonces es acreditable usando su precio estimado como valor de acreditación. Para el caso de procesos con coproductos que están en exceso y que tienen un valor en el mercado diferente de cero, el factor que el modelo considera para el coproducto, dándole un valor de cero, es erróneo. Este problema se puede evitar asignándole un valor de crédito al excedente de producción.

2.-El precio estimado representa el costo de producir una unidad extra del producto usando el proceso más barato (aceptado). Si todos los procesos aceptados son forzados, el precio estimado puede corresponder a uno de los baratos, es decir, el precio estimado sería diferente a cero, y sería cero si la variable débil es cero o si el producto no está en exceso.

Debido a la complejidad de los modelos y a su tamaño, se presenta frecuentemente el problema de la degeneración dual, en la que la solución principal tiene una o más variables básicas que son cero, resultando una solución dual múltiple. Como resultado de la degeneración múltiple se ponen precios estimados para obtener una solución óptima. Este problema

CAPITULO II  
MODELOS DE PROGRAMACIÓN.

puede evitarse si asignamos el más bajo límite a las variables básicas que tienen un valor de cero.

Las variables duales o costos reducidos han sido usados como un instrumento para determinar una nueva tecnología, y la posibilidad de una degeneración dual tiene que verificarse cuando la tecnología, a emplearse, haya sido elegida mediante un análisis de costo reducido.

En conclusión los forzamientos, los coproductos, las rutas de procesamiento múltiples y las soluciones duales múltiples, tienen un efecto en la solución numérica de los modelos de Programación Lineal (LP); los análisis basados solamente en la definición de precios estimados y en la reducción de costos pueden producir resultados diversos y no verificables.

---

### **CAPÍTULO III**

### **PROGRAMA DE SIMULACIÓN.**

---

## **ESTRUCTURA DEL SIMULADOR.**

La industria química es una cadena de procesos altamente interrelacionados, por lo que el sistema de computación esta basado en aproximaciones no-optimizadas, que permiten analizar las cadenas productivas, enfocándose principalmente en la evaluación tecnológica de los niveles de un proceso. El sistema fue desarrollado primero por la simulación de la estructura de las cadenas productivas empleando una representación gráfica, y posteriormente el diseño del trazo del algoritmo.

El programa de computo diseñado para modelar la industria petroquímica es llamado Estructura de un Simulador para la Industria Petroquímica (siglas en ingles SSPI).

### **IMPLANTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SIMULADOR.**

La implantación en el trazado de la cadena productiva presenta problemas en el control de flujo de información, ya que la estructura de procesamiento es compleja y ofrece diferentes rutas para ir de un punto a otro, por lo que la ruta necesita ser cuidadosamente monitoreada.

La programación recursiva es usada, pues tiene la ventaja de que construye un sistema de monitoreo de alto nivel.

El sistema de monitoreo consiste en salvar el estado de las variables cuando son llamadas por una subrutina o procedimiento y restituye las variables después de que el llamado ha finalizado, guardando solamente los cambios realizados.

El lenguaje usado para la implantación del simulador es PASCAL, fue elegido porque ofrece una forma simple para trabajar con listas unidas y permite presentar un programa eficiente, PASCAL es un lenguaje readaptable y fácil de estructurar en bloques de rutinas independientes. Las operaciones de entrada-salida (input-output) de los archivos están hechas por medio de canales estándar y todas las operaciones son secuenciales.

#### **REQUERIMIENTO DE DATOS.**

Los requerimientos de datos se dividen en dos tipos: datos económicos del proceso y datos económicos de producción.

Los datos económicos del proceso definen la cadena productiva para un sector de la industria dado. Estos datos incluyen el balance de masa, requerimientos de energía, e inversión para cada proceso. Los datos económicos de la producción describen específicamente un ambiente económico en particular, estos incluyen precio, niveles de producción y demanda para cada químico.

CAPITULO III  
PROGRAMA DE SIMULACIÓN.

---

La información económica del proceso esta contenida en un banco de datos. La figura 1 es un ejemplo de los datos para los procesos de producción de amoniaco.

1. VAPOR PROVENIENTE DE UNA REFORMADORA DE GAS.	
Balance de materia:	
Químico	Coeficiente
	T/T producto
Amoniaco	1.00
Metano	-0.42
Requerimientos de energia primarios	
para servicios auxiliares:	0.45 FOET/T
Unidad de inversión para una planta	
de 345 kT (1977 \$):	0.23 \$1000/T
El gas natural comúnmente es reformado sobre un catalizador de níquel en dos etapas.	
2. A PARTIR DE NAFTA	
Balance de materia:	
Químico	Coeficiente
	T/T producto
Amoniaco	1.00
Nafta	-1.02
Requerimientos de energia primarios	
para servicios auxiliares:	0.02 FOET/T
Unidad de inversión para una planta	
de 345 kT (1977 \$):	0.25 \$1000/T

Figura 1. Procesos del amoniaco.

El banco de datos esta dividido en tres archivos: el archivo químico, el archivo de proceso y el archivo de balance de masa.

El archivo químico (Apéndice B), contiene el nombre de los químicos incluidos en la industria simulada. El sistema tiene tres tipos de químicos: el producto principal de cada proceso, el químico que es coproducto, y las alimentaciones. Los dos últimos son reconocidos como productos externos. El archivo químico tiene también, para el producto principal, un número de proceso, en el cual es el producto principal y un puntero para el archivo de proceso. Si este es más de un proceso, se sigue la dirección de los procesos en orden secuencial.

El archivo de proceso (Apéndice C), tiene información correspondiente a cada proceso: capacidad (KT), costo unitario para la capacidad reportada (\$/KT), el consumo de energía en FOET (Toneladas equivalentes de combustible gaseoso) por T de producto y un puntero para el primer elemento del balance de masa de cada proceso, localizado en el archivo de balance de masa.

El archivo de balance de masa (Apéndice D), tiene incluido el balance de materia para cada proceso. Los datos son ordenados secuencialmente y el producto principal del proceso es siempre el primer elemento. La estructura de este ordenamiento en los archivos es llamado relacionado ya que cada archivo tiene información que lo relaciona con al menos otro archivo.

Los datos económicos de producción definen una cadena productiva específica, éstos datos incluyen el precio del mercado, la demanda externa para cada químico y la producción de cada proceso; ésta información es requerida y debe estar disponible en diferentes archivos: un archivo del precio de los químicos, en centavos/libra (Apéndice E), un archivo de producción, en KT (Apéndice G), y un archivo de demanda externa, en KT (Apéndice H).

El programa puede también considerar una estructura de capacidad de pre-construcción, éste sistema distingue entre pre-construcción y nueva capacidad, cada tipo de capacidad es tratado independientemente. Esto es importante si se desea conocer la inversión hecha en un proceso con capacidad ya existente, para cuantificar la inversión ya hecha. Si la capacidad de construcción esta siendo considerada, esta se puede guardar en un archivo de capacidad de construcción en unidades de KT.

La información del archivo químico, del archivo de demanda externa, y del archivo del precio de los químicos es asignada al vector de químicos, y la información del archivo de proceso y del archivo de producción es asignada al vector de proceso. La información del archivo de balance de masa es asignada a la construcción del árbol de tecnologías.

### ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN.

Uno de los objetivos importantes en la elección de tecnologías es conocer cuantitativamente los costos de producción. La siguiente ecuación es empleada como una estimación de costos de producción:

$$PC = RM - CP + E + IRCF * I \quad (1)$$

donde PC es el costo de producción por unidad de químico principal, RM es el costo de materia prima por unidad de químico principal, CP es el crédito para coproductos por unidad de químico principal, E es el costo de energía por unidad de químico principal, IRCF es el factor de costo relativo a la inversión, e I es la inversión por unidad de químico principal. En el IRCF se cuantifican los gastos fijos que pueden estar relacionados con la inversión, se le asigna un valor de 0.45.

El valor de 0.45 incluye el 25% del retorno de la inversión, el 10% por depreciación y 10% para labores y otras inversiones relacionados con los costos.

En la implementación de los costos de producción uno de los problemas es el precio de las materias primas y de los coproductos. Los precios promedio que se reportan en el mercado son apropiados para la materia prima (alimentaciones). El precio para los químicos intermedios es difícil de establecer y normalmente el comprador y el vendedor convienen sobre algún precio. El programa ofrece varias opciones para

seleccionar el precio de la materia prima y de los coproductos, éstas se muestran en la figura 2.

El precio del mercado esta dado en el archivo de precios de los químicos (Apéndice E). El costo promedio es calculado como el costo de producción extra. Si el químico tiene un déficit en su balance de demanda/producción, entonces su costo de producción es el precio del mercado simulando su costo de importación. Si el químico es un coproducto en un proceso, entonces el valor de coproducción es evaluado. El valor de coproducción tiene dos opciones: un porcentaje del precio del mercado o un costo promedio ponderado. El costo promedio ponderado es calculado por tener un crédito de cero para los coproductos en la ecuación 1.

<b>OPCIONES PARA MATERIA PRIMA:</b>	
1.-	PRECIO DEL MERCADO
2.-	COSTO PROMEDIO
<b>OPCIONES PARA COPRODUCTOS:</b>	
1.-	PRECIO DEL MERCADO
2.-	COSTO PROMEDIO -CON UN % DEL PRECIO DEL MERCADO POR COPRODUCCIÓN CUANDO EL COSTO TOTAL DEL QUÍMICO ES PROMEDIADO
3.-	COSTO ESTIMADO
4.-	CERO -CON UN % DEL PRECIO DEL MERCADO POR COPRODUCCIÓN CUANDO EL COSTO TOTAL DEL QUÍMICO ES PROMEDIADO.

Figura 2. Opciones para los valores de  
materia prima y de coproductos.

Entonces, el valor de PC es dividido por la suma de todos los coeficientes de los productos para obtener el costo promedio. El costo promedio ponderado tiene las unidades de centavos/libra producida, y es válido para cualquier producto de cualquier proceso para el cual es calculado.

Otro factor importante en la ecuación del costo de producción es la inversión. Un valor aceptable para cada proceso es una unidad de inversión para una planta de tamaño optimo. El programa tiene las siguientes opciones para la inversión:

- 1.- Inversión para una planta de tamaño optimo.
- 2.- Escalamiento de la planta según las necesidades de producción.
- 3.- Linealizar la unidad de inversión.

La primera opción calcula el número de plantas necesarias para lograr una producción dada y entonces obtener la inversión total para todas las plantas.

La segunda opción escala la inversión para las necesidades de producción usando la ecuación:

$$I_s = I_{op} \left( B / B_{op} \right)^m \quad (2)$$

donde  $I_s$  es la inversión escalada,  $I_{op}$  es la inversión para la planta de tamaño optimo,  $B$  es el tamaño de la planta necesario para cubrir una producción dada,  $B_{op}$  es el tamaño de planta

optimo, y  $m$  es el factor de escalamiento, si no se tiene este valor para algún proceso en particular, se le da un valor de 0.6 (regla de los seis décimos).

La tercera opción de inversión es simplemente la unidad de inversión. El uso de esta opción indica que la inversión es lineal con respecto a la capacidad de la planta.

Como se mencionó anteriormente, el precio de los químicos es difícil de definir, y para que el programa pueda reflejar a una industria real, la evaluación de los costos de producción requiere de grados de libertad para poder hacer los ajustes necesarios. El IRCF esta definido independientemente del tipo de proceso, y da un grado de libertad para calibrar los costos de producción. Mediante la variación del IRCF el costo de producto principal puede ser igualado al precio reportado por la industria.

### **RUTINAS IMPORTANTES.**

Se han descrito ya la estructura de datos usada para simular las cadenas productivas y los criterios empleados para elegir tecnologías, lo único que falta describir es la implementación del algoritmo trazado.

El objetivo del Programa es simular una industria enfocándose en las interacciones de los procesos a un nivel individual, la principal tarea del sistema puede ser definida como el conservar el balance entre la demanda y la producción.

El programa tiene implementadas tres rutinas importantes que estructuran la labor de mantener el balance entre demanda/producción. Estas rutinas son:

- 1.- Establecer el balance entre demanda/producción
- 2.- Generar una estructura para integrar la industria.
- 3.- Integrar la secuencia para llegar a nivelar las cadenas productivas.

Establecer el balance entre demanda/producción es la rutina más sencilla de las tres. Es usada para estudiar los efectos que producen los cambios de producción sobre las cadenas productivas. Si la producción cambia positivamente, la demanda de materia prima se incrementa, un proceso para manufacturar la materia prima con el más bajo costo es seleccionado, y su nivel de producción se incrementa. Si los cambios en la producción son negativos, entonces un proceso con un alto costo es seleccionado para reducir su producción.

La rutina de generación de la estructura se usa para generar una estructura de procesamiento, en donde la demanda de todos los químicos este localizada. Esta rutina localiza los recursos pero no garantiza una estructura de procesamiento optima.

La rutina es un híbrido entre programación dinámica y el trazado del algoritmo. Los pasos para completar la cadena son: primero, usando el algoritmo trazado, la rutina comienza desde el producto terminal (deseado) localizado al final de la cadena y termina su camino en la alimentación.

El objetivo de este paso es el de cuantificar los déficits en la producción de cada químico y asignar un potencial de producción necesario para cubrir el déficit de producción.

Segundo, cuando todos los productos terminales han sido especificados el potencial de producción para cada proceso esta determinado; este segundo paso a través de la cadena es desde la alimentación. El tiempo de producción es asignado para cada proceso, los costos de producción pueden ser verificados comparándolos con el precio en el mercado del producto principal. Si el costo de producción es mayor que el precio del mercado, entonces la producción es eliminada desde la estructura, y el cambio se lleva a cabo en las corrientes de entrada (alimentaciones). Esta verificación garantiza que todos los costos de producción son menores que los precios del mercado.

La rutina de secuencia de integración toma una cadena productiva y programa su expansión hasta que alcanza su objetivo. El algoritmo supone como inicio de la cadena a un elemento comúnmente definido en el sistema y pregunta por el objetivo industrial para que la adición pueda ser generada.

La rutina ofrece seis diferentes tácticas para la secuencia de integración (Figura 3).

La rutina no restringe el número de años necesarios para la construcción de la planta y del star-up. También ofrece la opción de tener un límite sobre la inversión y la cantidad, ya que se supone que las nuevas plantas tienen un tamaño óptimo.

<b>A</b>	El producto principal del proceso instalado tiene el valor más alto, por la diferencia entre el precio del mercado y el costo de producción.
<b>B</b>	El producto principal del proceso instalado es el que se exporta más ampliamente.
<b>C</b>	La primer planta instalada es la más grande.
<b>D</b>	La primer planta instalada es la más pequeña.
<b>E</b>	La inversión de la primer planta instalada es la mayor.
<b>F</b>	La inversión de la primer planta instalada es la menor.

Figura 3. Tácticas de Integración.

### COMO OPERA EL PROGRAMA.

El programa es un sistema manejado por 19 funciones diferentes contenidas en un menú principal (Figura 4).

Al inicio del programa, este pregunta por los archivos que contienen la información económica de producción, posteriormente el sistema pregunta al usuario que seleccione una opción para los valores de las materias primas y para el valor de los coproductos necesarios para la estimación de los costos de producción. Finalmente, se habrá el menú principal.

Después de la ejecución de cualquier operación del menú, el programa retorna a éste.

En la figura 9 se muestra la forma en que interactúan las diferentes opciones dentro del programa.

<b>A</b>	Cambio de la estructura de producción.
<b>B</b>	Construcción del Árbol Tecnológico de un químico específico.
<b>C</b>	Cambiar el set-up para la estimación de los costos de producción.
<b>D</b>	Investigación de nuevas rutas de procesamiento.
<b>E</b>	Disponibilidad de exportación.
<b>F</b>	Salvar el proceso de producción.
<b>G</b>	Generación de la estructura.
<b>H</b>	Secuencias de integración.
<b>I</b>	Información química y cambios.
<b>K</b>	Eliminación del exceso de producción.
<b>L</b>	Lista de la relación producción/consumo.
<b>M</b>	Comparación de dos estructuras de procesamiento.
<b>O</b>	Impresión de la cadena productiva.
<b>Q</b>	Salir del programa.
<b>R</b>	Evaluación de los IRCF's de los procesos.
<b>S</b>	Evaluación de la estructura.
<b>T</b>	Lista el árbol tecnológico de algún químico.
<b>U</b>	Evaluación de las diferentes alternativas.
<b>W</b>	Información de todos químicos.

*Figura 4. Opciones del Menú Principal.*

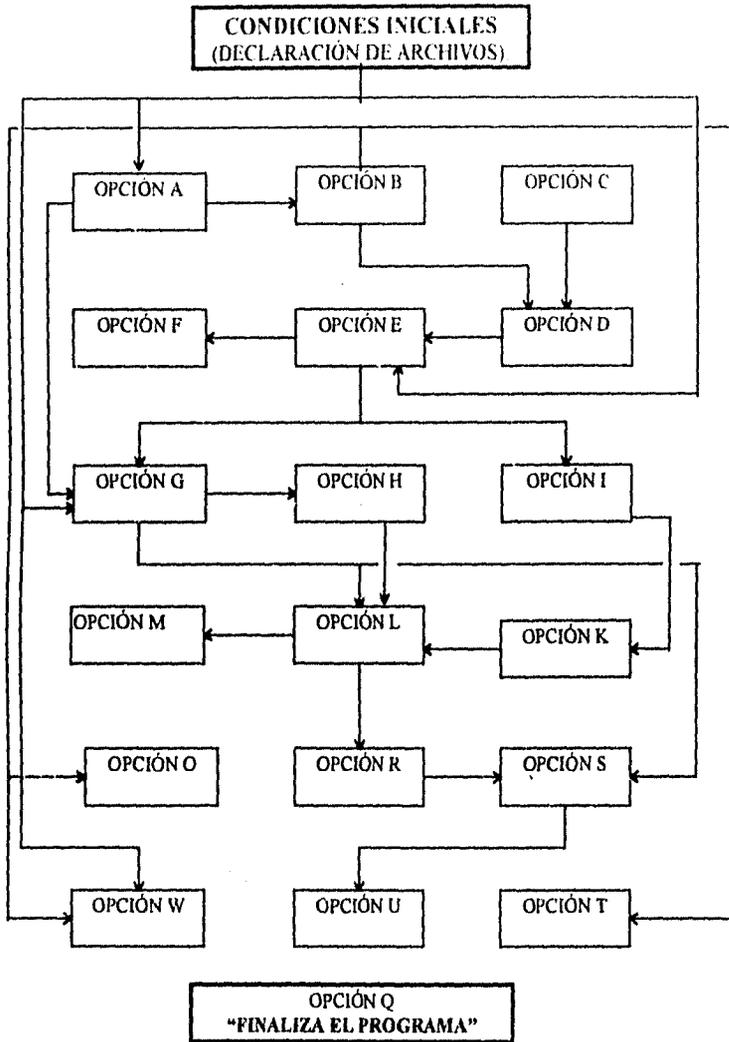


Figura 9. Diagrama de interrelación de las opciones del programa SSPI.

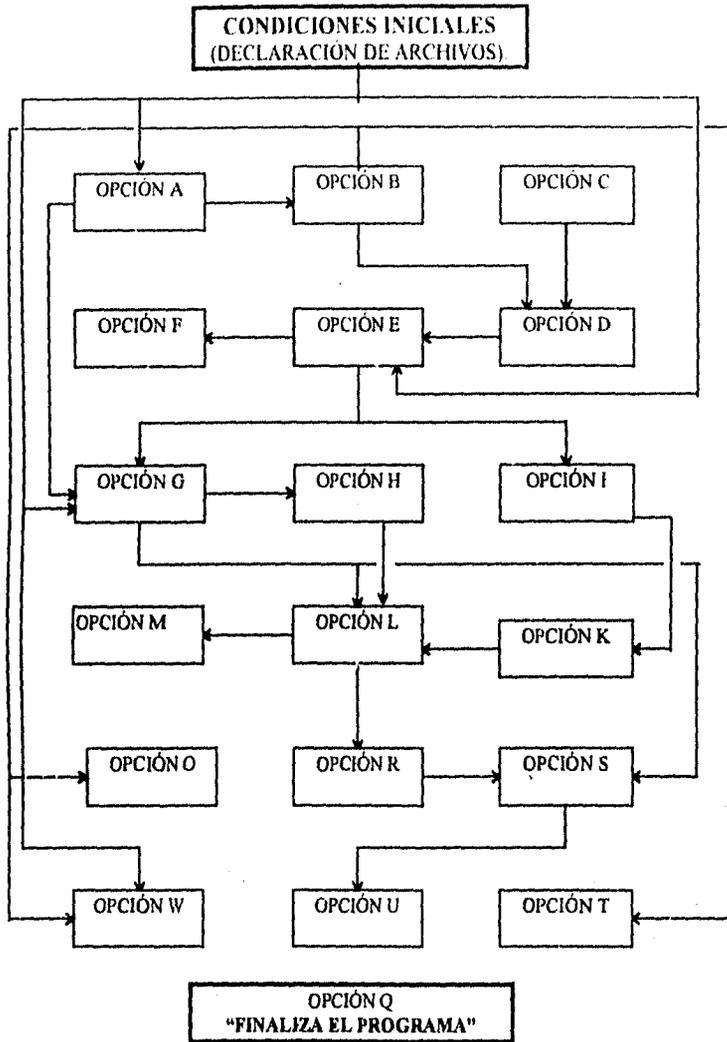


Figura 9. Diagrama de interrelación de las opciones del programa SSPI.

---

**CAPÍTULO IV**

**CADENAS PRODUCTIVAS.**

---

## CADENAS PRODUCTIVAS.

La Industria Química es una cadena de procesos y de químicos que producen moléculas demandadas por la economía de un país. Las Cadenas Productivas tienen la flexibilidad de mostrar las diferentes rutas de manufactura de las moléculas, a partir de las mismas materias primas dando como resultado un gran número de arreglos.

La figura 1 describe la cadena productiva de solo cinco moléculas: acrilonitrilo, fenol, estireno, acetato de vinilo y etilen glicol; un número de tecnologías alternado puede utilizarse para transformar las materias primas de entrada en estas cinco moléculas.

La representación gráfica consiste de una serie de puntos y una serie de líneas unidos en parejas de distintos puntos. Los puntos están también referidos como NODOS y las líneas como CURVAS. Si las curvas tienen dirección, entonces la gráfica es llamada gráfica dirigida, (Figura 2).

Si la dirección de una curva va desde el nodo  $n_1$  hasta el nodo  $n_2$  entonces se dice que el nodo  $n_1$  es el predecesor de  $n_2$ , y que el nodo  $n_2$  es el sucesor de  $n_1$ .

Las cadenas productivas pueden ser representadas como un gráfica finita que tiene sobre un extremo la alimentación y sobre el otro el producto final. Una serie de productos intermedios existe entre ambos extremos.

CAPITULO IV  
CADENAS PRODUCTIVAS.

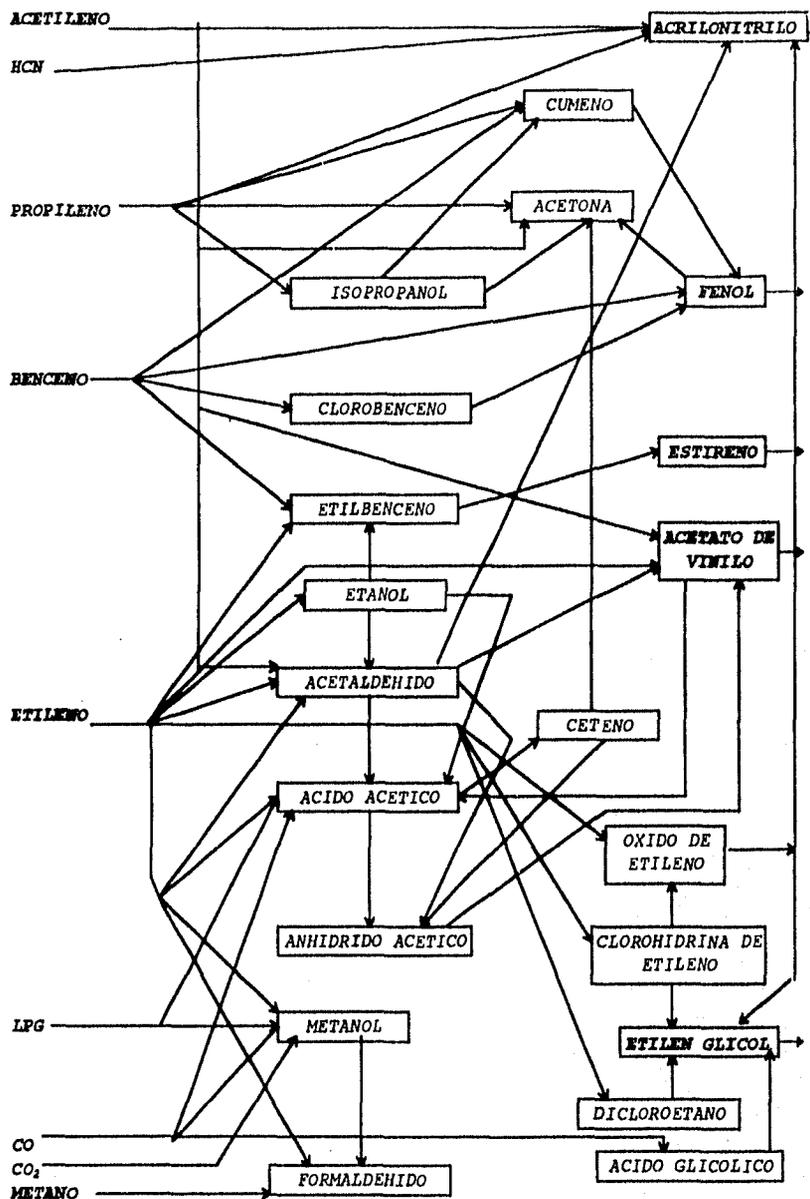
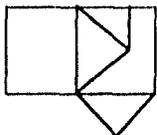
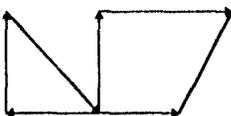


Figura 1. Cadena Productiva de cinco productos.



Gráfica



Gráfica Dirigida.

Figura 2. Tipos de Gráficas.

La unión que existe entre los diferentes químicos son los procesos, se propone representar a los procesos por las curvas y a los químicos por los nodos. Esto no es adecuado cuando un proceso requiere de más de un químico y un arco que son difíciles de representar; sin embargo, existe una forma para representar curvas unidas con un tipo especial de gráficas, llamadas gráficas Y/O (AND/OR). Estas gráficas tiene dos clases de nodos, los nodos Y (AND) y los nodos O (OR). La marca del nodo viene desde la unión del nodo con su predecesor.

El nodo Y (AND) se refiere a aquellos nodos en los cuales todos sus sucesores deben ser conocidos antes de conocer a su predecesor. Para el caso del nodo O (OR)

solamente es necesario definir un nodo, antes de que su predecesor sea definido.

El nodo Y (AND) puede ser usado para representar a los químicos involucrados en un proceso, y los nodos O (OR) para representar a los procesos. Esto es adecuado, sin embargo, solamente un proceso es necesario para producir un químico, y todos los químicos involucrados en un proceso pueden ser definidos antes que el proceso pueda ser considerado definido. La figura 3 muestra un ejemplo de la representación gráfica de una cadena productiva.

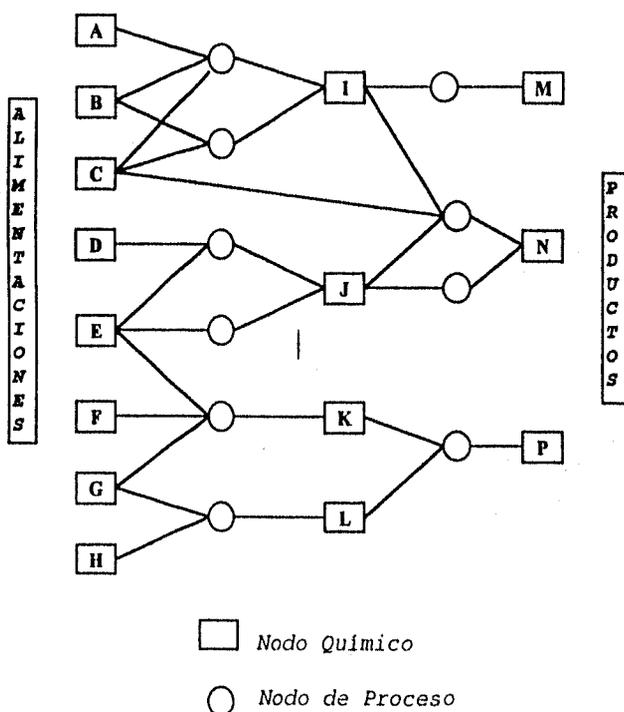


Figura 3. Representación gráfica de una Cadena Productiva.

## ELABORACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.

El trazado de la parte superior de la cadena productiva presenta un problema combinado , es decir, existen varias alternativas para la producción de muchos de los químicos por lo que se requiere una exhaustiva evaluación del nivel del proceso.

Para este tipo de problemas combinados se han generado técnicas para trazar las gráficas, con ello se puede decidir como moverse en la gráfica mediante la evaluación de la función objetivo en cada nodo alternativo.

La función depende de los objetivos de búsqueda, para el caso de las cadenas productivas solamente la selección del proceso presenta diferentes alternativas, sin embargo, el algoritmo trazado solamente evalúa los nodos de proceso. En este caso el algoritmo se forma para cada tecnología individualmente, considerando sus interacciones con el resto de la cadena.

El algoritmo se hace de la siguiente forma:

1. Se inicia con un nodo químico,
2. Se selecciona un proceso que elabore el químico seleccionado y ,
3. Para cada materia prima que forme parte del proceso seleccionado, se repite el algoritmo hasta que la alimentación es obtenida.

La elección del proceso puede estar basado en diferentes criterios, por ejemplo, el criterio económico, basado en los costos de producción del proceso. Esto nos demuestra que el trazado del algoritmo en general es flexible.

### **GENERACIÓN DE ESTRUCTURA DE DATOS PARA LAS CADENAS PRODUCTIVAS.**

Para diseñar la estructura de datos que simule la representación gráfica de una cadena productiva, primero tienen que considerarse los siguientes factores:

- a) Algunos nodos químicos son compartidos por más de un proceso,
- b) El acceso a un químico intermedio requiere atravesar parte de la cadena, y
- c) El número de sucesores es variable.

Estos factores son significativos porque la implementación del algoritmo trazado se facilita si:

- 1) Cada químico es accesado independientemente, y
- 2) Si hay un número estándar de sucesores para cada nodo.

Para tener un acceso independiente a cada nodo químico, se debe romper la estructura productiva de cada químico; la estructura resultante es una serie de subgráficas, una para cada químico (Figura 4).



Las interacciones químicas con los procesos son claramente distinguidas, y ahora los químicos pueden ser accedidos independientemente; cada subgráfica tiene las características de un árbol; un árbol es un tipo especial de gráfica en la cual cada nodo tiene más de un predecesor. Estos arboles son llamados ARBOLES TECNOLÓGICOS.

La estructura de los datos de los arboles tecnológicos tiene un número variable de sucesores para cada nodo. Para estandarizar la representación se usan arboles binarios, con la característica de que cada nodo solamente puede tener dos sucesores.

La transformación de arboles binarios es hecha de la siguiente manera, primero todos los sucesores de un nodo dado son del mismo tipo, y el orden no es relevante, pues se crea una lista unida de nodos semejantes. Es decir, todos los nodos que representan un químico involucrado en un proceso, son colocados en una lista unida (un químico que es predecesor de otro); en la misma forma, los procesos usados para producir un químico en particular son colocados en una lista; y si unimos cada lista de químicos con su respectivo nodo de proceso y cada lista de proceso con su respectivo nodo químico, tenemos la representación de un árbol binario mediante arboles tecnológicos (Figura 5).

Esta representación no limita el número de procesos o de químicos en su lista respectiva. La representación del árbol binario permite tener acceso independiente a cada nodo químico, y tiene un número estándar de sucesores para cada nodo.

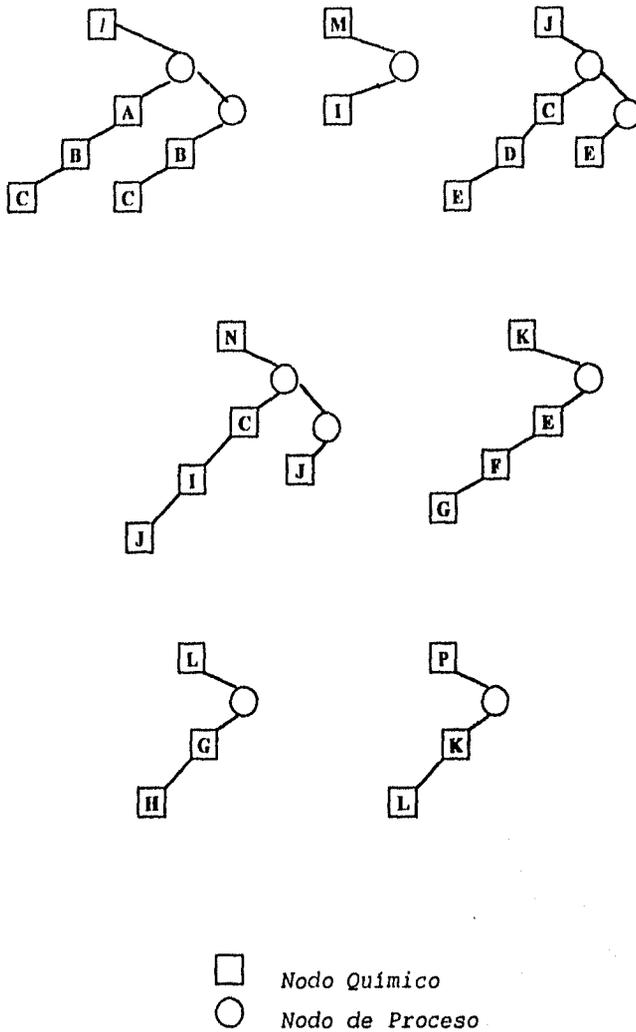


Figura 5. Representación Binaria de los Arboles Tecnológicos.

La información que requiere esta estructura de datos es: si algunos químicos forman parte de más de un árbol tecnológico, y si cada nodo representa a un químico; la información química se duplica como solución a un vector cuando la información química es usada. Este vector tiene una hilera para cada químico.

En suma, los arboles tecnológicos son adicionados al vector, de esta forma los nodos químicos solamente tienen un coeficiente de balance de masa y se evita el tener que duplicar la información (Figura 6).

Esta estructura de datos que simula la representación gráfica de las cadenas productivas da mayor flexibilidad al formato de información del proceso, ya que el vector de proceso contiene toda la información de los procesos que pueda ser requerida.

Los nodos de proceso además requieren solamente de un puntero para el vector de proceso. Este vector también adiciona independencia al acceso de información del proceso.

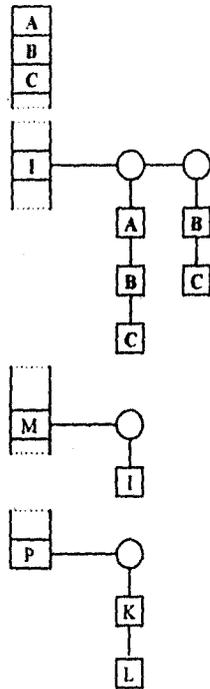
En resumen, la representación gráfica de las cadenas productivas tiene dos vectores, el vector químico y el vector de proceso.

El vector químico contiene la información química, las listas con la información de las corrientes y de los arboles tecnológicos.

El vector de proceso contiene la información para cada proceso. Cada químico dirigido por el sistema tiene asignado un registro en el vector químico, la dirección de cada registro está en el código químico (ID). Una situación similar ocurre con los procesos, los procesos tienen un

código alternativo definido por la posición que tenga en el árbol tecnológico con respecto al nodo raíz.

VECTOR QUÍMICO



- Nodo Químico
- Nodo de Proceso

Figura 6. Vector Químico.

---

**CAPITULO V**

**SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.**

---

## SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.

La industria Mexicana debe llevar a cabo una importante reestructuración para aumentar su rentabilidad y competitividad a nivel mundial, por ello se tiene la opción de crear nuevas plantas de procesamiento, que ayuden a sustituir las importaciones de productos químicos y petroquímicos.

Por lo anterior, se plantea conocer las cadenas productivas de las materias primas principales de las diferentes ramas industriales, tomándose como ejemplo al *ETILENO* que es materia prima en la producción de *CLORURO DE VINILO*.

La información necesaria para la elaboración de la cadena productiva y del estimado en la inversión, se muestra en las tablas 1 y 2, los datos para los demás químicos se encuentran en los apéndices E, G y H.

Todas las cantidades están en kilotoneladas (KT) y el precio en centavos de dólar/libra (C/LB), los datos para los años 1995 y 2000 son datos estimados (método de mínimos cuadrados).

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

**CLORURO DE VINILO:**

Año	1981	1983	1985	1987	1989	1991	1993	1995	2000
Producción	57	134	109	179	194	97	212	234	353
Importación	65	72	161	143	153	259	164	184	179
Exportación	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C. Aparente	142	206	268	322	317	356	366	388	432
C. Instalada	70	70	270	270	270	270	270	270	270
Precio	_____	_____	21.5	43.5	35.9	37.1	47.1	49.7	63.2

Tabla 1: "Comportamiento del Cloruro de Vinilo en México".

Fuente: (1981-1993) Anuario estadístico del ANIQ y PEMEX de 1993

**ETILENO:**

Año	1981	1983	1985	1987	1989	1991	1993	1995	2000
Producción	378	645	670	804	1180	1365	1376	1378	1382
Importación	19	0	0	0	0	0.5	0	0.5	0.5
Exportación	3	56	67	4	80	171	151	172	182
C. Aparente	394	589	604	801	1108	1199	1214	1026	1188
C. Instalada	432	932	932	932	1418	1391	1391	1391	1391
Precio	_____	_____	25.0	37.4	44.2	45.7	55.3	64.0	86.9

Tabla 2: "Comportamiento del Etileno en México".

Fuente: (1981-1993) Anuario estadístico del ANIQ y PEMEX de 1993

## CONSIDERACIONES NECESARIAS PARA LA SIMULACIÓN.

Cuando se simula la cadena productiva con el programa (SSPI), se consideran dos factores: uno es el balance de masa en los diferentes procesos, y el otro es el precio de los químicos intermedios. El balance de masa en la cadena productiva esta determinado por los niveles de producción de cada proceso. El precio de los químicos intermedios en la simulación es un valor estimado, la magnitud de los números involucrados en el balance de masa facilitan la dilución de los errores involucrados en los valores de los coeficientes de balance de masa y en los datos de producción.

Por otra parte, los costos de producción son sensibles a los niveles de producción y a los costos de operación, si los niveles de producción los fija el balance de masa de la cadena productiva, entonces solamente los costos operacionales tienen que calibrarse. Los costos de operación incluyen costos de materia prima, costo de energía y costos relacionados con la inversión.

El programa considera a los costos de energía fijos, así la obtención de los costos de producción tendrá solamente dos grados de libertad: los costos de materia prima y los costos relativos a la inversión.

En el cálculo de costos de materia prima, el programa propone un valor estimado para los subproductos y ofrece varias opciones para establecer los valores de las materias primas y de los subproductos. Estos valores son usados en la ecuación 1 del capítulo IV, para estimar los costos de producción.

Esta ecuación tiene un factor que está definido independientemente de cada proceso, el factor de costo relativo a la inversión (IRCF). El IRCF da otro grado de libertad para calibrar los costos de producción, para obtener los mejores valores tanto para la materia prima como para los subproductos, al IRCF se le da un valor de 0.45.

### REPORTE DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN.

El reporte de las diferentes tecnologías usadas para producir etileno o cualquier otro químico se obtiene mediante la opción B del programa, el número entre paréntesis indica el proceso en uso, (Apéndice F) :

**\*QUÍMICO\* 38**

**ETILENO**

El precio del químico es 64.00 C/LB, este químico se obtiene a partir de 10 procesos principales.

PROCESO 1(83) ETILENO VÍA CRAQUEO DE ETANO-PROPANO (50:50):  
para una planta de 454 KT, la unidad de inversión es \$558.00/T, el equivalente de combustible por tonelada es 0.870

Balance de Materia:

CÓDIGO	QUÍMICO	COEFICIENTE
		T/T PRODUCTO
177	BUTANOS	0.060
188	ETANO	-0.920
191	COMBUSTIBLE GASEOSO	0.480
211	PROPANO	-0.920
69	PROPILENO G.Q.	0.140
214	GASOLINA DE PIRÓLISIS	0.160

CAPITULO V  
SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.

---

PROCESO 2(84) ETILENO VÍA CRAQUEO DE GASOIL (ALTO RIESGO):  
para una planta de 454 KT, la unidad de inversión es \$992.00/T, el equivalente de combustible por tonelada es 1.20

Balance de Materia:

CÓDIGO	QUÍMICO	COEFICIENTE T/T PRODUCTO
177	BUTANOS	0.46
193	COMBUSTIBLE ACEITOSO B.S.	1.09
194	GAS OÍL	-4.50
69	PROPILENO G.Q.	0.70
214	GASOLINA DE PIRÓLISIS	0.74

PROCESO 3(85) ETILENO VÍA CRAQUEO DE NAFTA (ALTO RIESGO): para  
una planta de 454 KT, la unidad de inversión es \$961.00/T, el  
equivalente de combustible es 0.940

Balance de Materia:

CÓDIGO	QUÍMICO	COEFICIENTE T/T PRODUCTO
177	BUTANOS	0.370
191	COMBUSTIBLE GASEOSO	0.580
193	COMBUSTIBLE ACEITOSO B.S.	0.050
204	NAFTA	-3.250
69	PROPILENO G.Q.	0.630
214	GASOLINA DE PIRÓLISIS	0.640

Proceso 4(86) ETILENO VÍA PIRÓLISIS DE ETANO: para una planta  
de 454 KT, la unidad de inversión es \$511.50/T, el equivalente  
de combustible por tonelada es 0.74

CAPÍTULO V  
SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.

Balance de Materia:

CÓDIGO	QUÍMICO	COEFICIENTE T/T PRODUCTO
177	BUTANOS	0.040
188	ETANO	-1.300
191	COMBUSTIBLE GASEOSO	0.180
69	PROPILENO G.Q.	0.040
214	GASOLINA DE PIRÓLISIS	0.060
219	HIDRÓXIDO DE SODIO	-0.010

Proceso 5(87) ETILENO VÍA PIRÓLISIS DE PROPANO: para una planta de 454 KT, la unidad de inversión es \$620.00/T, el equivalente de combustible por tonelada es 1.01

Balance de Materia:

CÓDIGO	QUÍMICO	COEFICIENTE T/T PRODUCTO
177	BUTANOS	0.080
191	COMBUSTIBLE GASEOSO	0.770
211	PROPANO	-2.360
69	PROPILENO G.Q.	0.240
214	GASOLINA DE PIRÓLISIS	0.270

Proceso 6(88) ETILENO VÍA CRAQUEO DE NAFTA (BAJO RIESGO): para una planta de 454 KT, la unidad de inversión es \$961.00/T, el equivalente de combustible por tonelada es 0.93

Balance de Materia:

CÓDIGO	QUÍMICO	COEFICIENTE T/T PRODUCTO
177	BUTANOS	0.360
191	COMBUSTIBLE GASEOSO	0.580
193	COMBUSTIBLE ACEITOSO B.S.	0.250
204	NAFTA	-3.920
69	PROPILENO G.Q.	0.600
214	GASOLINA DE PIRÓLISIS	1.21

CAPITULO V  
SIMULACION DE LA CADENA PRODUCTIVA.

---

Proceso 7(89) **ETILENO VÍA CRAQUEO DE GASOIL (BAJO RIESGO)**: para una planta de 494 KT, la unidad de inversión es \$1223.00/T, el equivalente de combustible por tonelada es 1.250

Balance de Materia:

CÓDIGO	QUIMICO	COEFICIENTE
		T/T PRODUCTO
177	BUTANOS	0.830
191	COMBUSTIBLE GASEOSO	0.390
193	COMBUSTIBLE ACEITOSO B.S.	2.160
194	GAS OÍL	-6.020
69	PROPILENO G.Q.	0.850
214	GASOLINA DE PIRÓLISIS	1.100

Proceso 8(90) **ETILENO VÍA CRAQUEO DE GASOIL (RIESGO MEDIO)**: para una planta de 454 KT, la unidad de inversión es \$1038.50/T, el equivalente de combustible por tonelada es 1.25

Balance de Materia:

CÓDIGO	QUIMICO	COEFICIENTE
		T/T PRODUCTO
177	BUTANOS	0.570
193	COMBUSTIBLE ACEITOSO B.S.	1.25
194	GAS OÍL	-6.53
69	PROPILENO G.Q.	0.800
214	GASOLINA DE PIRÓLISIS	1.40

Proceso 9(91) **ETILENO VÍA DESHIDROGENACIÓN DE ACETILENO**: para una planta de 23 KT, la unidad de inversión es \$217.00/T, el equivalente de combustible por tonelada es 0.210

Balance de Materia:

CAPÍTULO V  
SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.

CÓDIGO	QUÍMICO	COEFICIENTE T/T PRODUCTO
5	ACETILENO	-1.090
191	COMBUSTIBLE GASEOSO	1.240
46	HIDROGENO	-0.310

Proceso 10(92) ETILENO VÍA DESHIDROGENACIÓN DE ETANOL: para una planta de 454 KT, la unidad de inversión es \$17.00/T, el equivalente de combustible por tonelada es 0.20

Balace de Materia:

CÓDIGO	QUÍMICO	COEFICIENTE T/T PRODUCTO
36	ACRILATO DE ETILO	-1.75

### USOS PRINCIPALES.

El reporte de los usos principales de los diferentes químicos se obtiene mediante la opción D del programa.

El etileno se utiliza principalmente para producir:

QUÍMICO	CÓDIGO
ACETALDEHIDO	1
ACRILONITRILLO	9
ETANOL	35
ETILBENCENO	37
DICLOROETILENO	39
ETILENGLICOL	40
OXIDO DE ETILENO	41
ACETATO DE VINILO	83
CLOROVINILDIENO	85
POLIETILENO DE A. D.	103
POLIETILENO DE B. D.	104
COPOLIMÉROS DE ACETATO DE VINILO	114
ELASTÓMEROS DE PROPILÉNO-ETILENO	127
ETILENO-PROPILÉNO ELÁSTICO	158
POLIETILENO LINEAL DE B. D.	161

En la Figura 1 se muestra un diagrama de flujo de los principales usos del etileno según la Industria Petróleos Mexicanos.

### DISPONIBILIDAD DE EXPORTACIÓN.

La disponibilidad de exportación de los diferentes químicos se obtiene mediante la opción E del programa.

La disponibilidad de exportación para el etileno es:

PETROQUÍMICO	DEMANDA	DEMANDA	PRODUCCIÓN	COPRODUCCIÓN	EXPORT./
	EXTERNA	INTERNA	TOTAL	TOTAL	IMPORT.
ETILENO	172	1554.17	1378.0	0	-348.17

PROCESO	NUMERO DE PLANTAS	CAPACIDAD POR PLANTA	CAPACIDAD TOTAL	DISPONIBILIDAD DE EXPORTACIÓN
1	2	454		
			908	0

### INFORMACIÓN GENERAL.

La información general de los diferentes químicos se obtiene mediante la opción I del programa.

La información general para el etileno es:

El Etileno tiene un precio de 64.00 C/LB y es un petroquímico básico.

Su costo promedio es = 60.50 C/LB



Las siguientes cantidades son en KT:

Demanda = 1554.17                      Demanda Externa = 1726.17

Demanda Generada = 1726.17      Producción = 1378.00

Coproducción = 0

Proceso                      Producción

1                                      454

Costo de la Capacidad de  
Construcción = 32.71                      IRCF Usado = 0.450

Costo de Producción = 0.0                      IRCF Usado = 0.450

Capacidad = 1378.0

Relación exportación/importación = -348.17

### **BALANCE PRODUCCIÓN / CONSUMO.**

La lista del Balance Producción/Consumo de los diferentes químicos se obtiene mediante la opción L del programa.

La lista del balance Producción/Consumo del Etileno es (todas las cantidades son en KT):

CAPITULO V  
SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.

Proceso	Producción
1	454
	Coproducción
Acetileno	0
	Consumo en
Acetaldehido	189.52
Etilenglicol	170.05
Oxido de etileno	304.41
Acetato de vinilo	22.70
Cloruro de vinilo	110.58
Polietileno A.D.	232.20
Polietileno B.D.	401.08

Producción	1378.00	Demanda Interna	1554.17
Coproducción	0	Demanda Externa	172.00
	_____		_____
Producción Total	1378.00	Demanda Total	1726.17

Relación Exportación/Importación -348.17

### COMPARACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE PRODUCCIÓN.

La comparación entre la estructura de producción obtenida por el programa con la estructura de producción dada, se obtiene mediante la opción M del programa:

Químico	Proceso	Estructura del Sistema (KT)	Estructura Dada (KT)
ACETALDEHÍDO	1	272.60	279
ÁCIDO ACÉTICO	4	195.40	200
ACRILONITRILO	24	155.30	159
BEHCENO	38	373.00	387
ETILENO	83	1346.20	1378
CLORURO DE VINILO	179	224.70	230

### EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN.

La Evaluación de la Estructura de Producción de los diferentes químicos se obtiene mediante la opción S del programa (todas las cantidades están en dólares).

Número de procesos con costo de producción > que el precio del mercado.

Procesos en Construcción = 199	Nuevos Procesos = 0
Sobre Precio = 0.292927E+06	Sobre Precio = 0

Prófit de los Nuevos Procesos = \$ 0.00000E+00

Prófit de los Procesos en Construcción = \$ 1.978457E+07

CAPITULO V  
SIMULACION DE LA CADENA PRODUCTIVA.

Costo del Etileno sobre el precio del mercado = \$ 8.2988E+06  
Profit del Etileno en el precio del mercado = \$ 1.9047E+07  
Valor en el mercado del Etileno producido = \$13.3824E+07  
Requerimiento total de la inversión = \$ 0.0000E+00  
Costo de inversión = \$ 4.9868E+07  
Costo de energía = \$ 9.3267E+06  
Valor de importación = \$ 7.2680E+03  
Total de importación = \$ 1.2755E+08  
Costo de la estructura de producción = \$ 2.6949E+08

La estimación del costo de producción para una producción de 530 KT, reportando el proceso más barato para el Etileno es:

Proceso	Costo De Producción C/LB
Usando el Proceso 1	Petroquímico: Etileno
El Costo de Producción es	61.80

**CADENAS PRODUCTIVAS:**

La Cadena Productiva de los diferentes químicos se obtiene mediante la opción 0 del programa. El signo de la izquierda indica si el petroquímico es producido (+) o si se consume (-).

a) PARA EL ETILENO.

PROCESO #4. ETILENO VÍA PIRÓLISIS DE ETANO

- ETANO

PROCESO #9. HIDROGENACIÓN DE ACETILENO

- ACETILENO

*Proceso #1. A partir del residuo aceitoso,  
sometido a un proceso de flama.*

+ Etileno  
+ Combustible gaseoso  
- Aceite combustible con alto azufre  
- Oxígeno  
+ Gas de síntesis relación 2:1

*Proceso #2. Vía hidratación del carbonato de  
calcio*

- Carbonato de calcio  
- Coque  
+ Otros productos  
- Otros Químicos

*Proceso #3. Pirólisis de Metano*

- Metano  
- Oxígeno  
+ Gas de síntesis relación 2:1

*Proceso #4. Pirólisis de Nafta*

- Coque  
+ Combustible gaseoso  
- Nafta  
- Oxígeno

CAPITULO V  
SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.

---

Proceso #5. Pirólisis de Etano

- Etano
- + Combustible gaseoso
- + Combustible aceitoso con bajo azufre

- **HIDRÓGENO**

Proceso #1. A partir de metano

- Metano

Proceso #2. A partir de nafta

- Nafta

Proceso #3. Oxidación parcial de nafta

- + Dióxido de carbono
- + Monóxido de carbono
- Nafta
- Oxígeno
- Ácido sulfúrico

Proceso #1. Vía Proceso de doble absorción.

- Azufre

**PROCESO #10. DESHIDROGENACIÓN DE ETANOL**

- **ETANOL**

**b) PARA EL ACETALDEHIDO.**

**PROCESO 1. ACETALDEHIDO VÍA OXIDACIÓN DE ETILENO (una etapa de oxidación).**

- **Etileno**

Proceso 1. Etileno via craqueo de Etano-Propano (50:50)

+ Butano

- Etano

+ Combustible gaseoso

- Propano

+ Propileno grado químico

+ Gasolina de Pirólisis

Proceso 5. Etileno vía pirólisis de Propano

+ Butanos

+ Combustible gaseoso

- Propano

+ Propileno grado químico

+ Gasolina de Pirólisis

- **Oxígeno**

**PROCESO 2. ACETALDEHIDO VÍA OXIDACIÓN DE ETILENO (dos etapas de oxidación).**

- **Etileno**

- **Cloruro de Hidrógeno**

**PROCESO 3. ACETALDEHIDO VÍA OXIDACIÓN DE ETANOL.**

- **Etanol**

Proceso 1. Etanol vía hidratación de etileno.

- Etileno

+ Combustible gaseoso

## **DESARROLLO DE LAS TÁCTICAS DE INTEGRACIÓN.**

El Desarrollo de las Tácticas de Integración se obtiene mediante las opciones G y H del programa.

Las diferentes tácticas, para definir la secuencia de integración de la industria, se basan en la capacidad de expansión industrial necesaria para lograr la convergencia de la estructura de procesamiento deseada en un país.

Las opciones que ofrece el programa permiten generar diferentes alternativas de procesamiento, para obtener una estructura industrial óptima en un país y/o ciudad; éstas alternativas son:

- A. El producto principal del proceso instalado tiene el valor más alto, por la diferencia entre el precio del mercado y el costo de producción.
- B. El producto principal del proceso instalado es el que se exporta más ampliamente.
- C. La primer planta instalada es la más grande.
- D. La primer planta instalada es la más pequeña.
- E. La inversión de la primer planta instalada es la mayor.
- F. La inversión de la primer planta instalada es la menor.

En la evaluación de las tácticas de integración de la industria se asumió un caso hipotético, en base a las condiciones de producción de los diferentes químicos y petroquímicos se planteo como capacidad de utilización mínima

30% de la capacidad instalada para construir una planta, un requerimiento de 2 años para construirla y 1 año para su arranque. El 40% de requerimiento de inversión en el primer año y 60% para el segundo, y un 100% de capacidad utilizada para el primer año. La evaluación de la estructura de producción se efectuó para 8 años considerando los años necesarios para construir y arrancar la planta.

En base a los datos anteriores se obtienen los siguientes resultados:

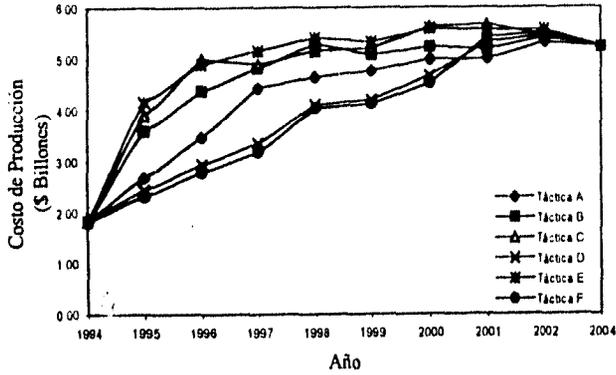
- Para la estructura de producción establecida se requieren 199 plantas que cubrirán las necesidades del mercado nacional.
- Con una inversión total de \$5266.327 millones de dólares.
- Una inversión promedio anual de \$658.29 millones de dólares.

Algunas plantas químicas y petroquímicas que se pueden construir se muestran en la tabla 5.1, el número de proceso se puede verificar en el apéndice F; y los resultados de cada una de las tácticas de integración se muestran en las gráficas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4.

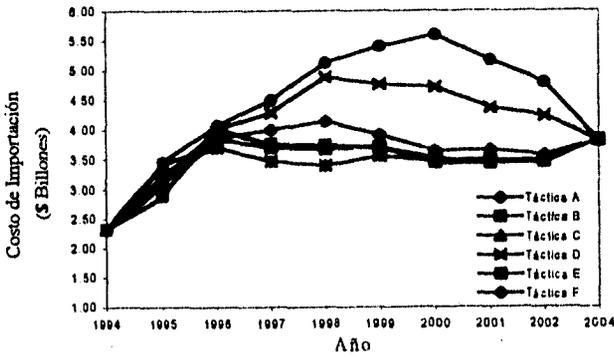
CAPITULO V  
SIMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA.

QUÍMICO	PROCESO	PRODUCCIÓN (KT)	CAPACIDAD DEL PROCESO	Nº. PLANTAS
ACETALDEHIDO	1	278.70	136	2
ÁCIDO ACÉTICO	4	200.42	136	2
ANHÍDRIDO ACÉTICO	8	84.80	136	1
ACETONA	10	54.82	68	2
ACRILONITRILO	24	158.49	181	1
AMONIACO	33	118.48	345	1
BENCENO	38	386.78	90	5
BUTADIENO	41	15.32	90	1
N-BUTANOL	48	16.60	68	1
CAPROLACTAMA	55	75.40	68	2
CLORO	62	382.56	181	3
CUMENO	67	58.26	127	1
CICLOHEXANO	68	89.64	100	1
ETILENO	83	1378.00	454	3
ETILENGLICOL	95	333.42	181	2
OXIDO DE ETILENO	97	317.07	136	3
FORMALDEHÍDO	102	115.84	45	5
ANHÍDRIDO MALÉICO	125	5.84	27	1
METANOL	131	223.28	318	1
ACRILATO DE METILO	134	30.89	45	1
ÁCIDO NÍTRICO	142	387.95	66	6
FENOL	144	33.71	91	1
ANHÍDRIDO FTÁLICO	149	68.70	32	4
PROPILENO G. Q.	151	368.44	181	3
ESTIRENO	156	158.78	454	1
ÁCIDO SULFÚRICO	158	4899.68	306	18
ÁCIDO TEREFÁLICO	169	299.80	181	3
UREA	173	710.42	340	3
ACETATO DE VINILO	175	58.20	136	2
CLORURO DE VINILO	179	234.00	272	1

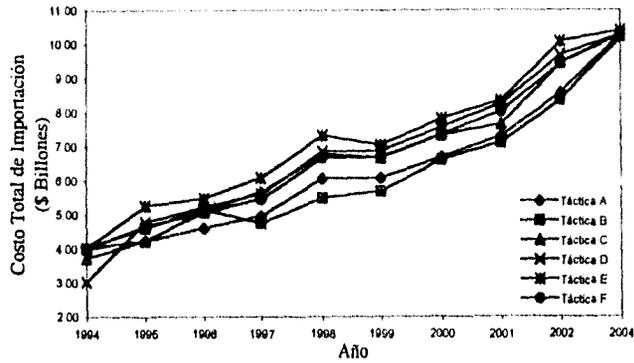
Tabla 5.1 Número de plantas Químicas y Petroquímicas que se pueden construir.



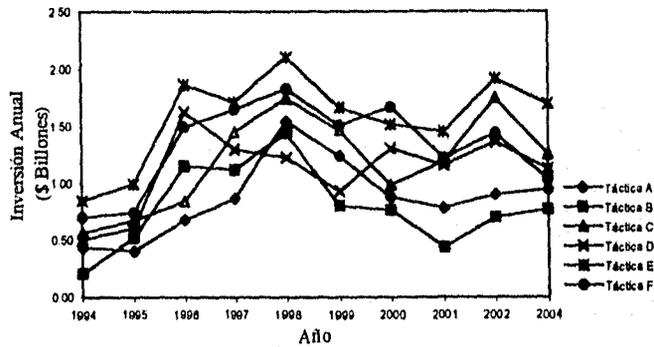
Gráfica 5.1: Tácticas para evaluar el Costo de Producción.



Gráfica 5.2: Tácticas para evaluar el Costo de Importación.



Gráfica 5.3: Tácticas para evaluar el Costo Total de Importación.



Gráfica 5.4: Tácticas para evaluar la Inversión Anual.

---

**CAPITULO VI**

**ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

---

## ANÁLISIS DE RESULTADOS.

La evaluación de las diferentes rutas de procesamiento para producir *ETILENO* nos permitirá elegir la ruta que satisfaga la demanda interna y externa de producto. Como se puede observar en la simulación de la cadena productiva del etileno, se tienen diferentes tecnologías para la obtención del mismo, de las cuales podemos elegir la que más convenga a nuestras necesidades.

Para una mejor elección podemos considerar el tipo de materia prima de que se disponga, los subproductos que deseamos obtener en mayor o menor proporción, y tomar en cuenta como factor primordial la unidad de inversión; es decir, cuanto estamos dispuestos a invertir por tonelada de producto deseado.

En base a los criterios anteriores las tecnologías que podemos considerar más aceptables para producir Etileno son:

1. Etileno vía crackeo de Etano-Propano (50:50)
4. Etileno vía Pirólisis de Etano
5. Etileno vía Pirólisis de Propano
6. Etileno vía crackeo de Nafta (Bajo Riesgo)
9. Etileno vía Deshidrogenación de Acetileno
10. Etileno vía Deshidrogenación de Etanol

Las tecnologías 9 y 10 producen cantidades muy pequeñas de etileno, lo que requeriría de más de una planta para

cubrir la demanda del producto, y como consecuencia se incrementa la inversión.

Las tecnologías 1, 4,5 y 6 cuyas unidades de inversión son pequeñas tienen una producción de etileno aceptable que cubren la demanda interna y externa del producto; con la construcción de máximo 2 plantas de producción sin incrementar excesivamente la inversión.

La tecnología número 6: *Etileno via crackeo de Nafta (Bajo Riesgo)*, en donde se obtienen bajas cantidades de subproductos y altas cantidades de producto con una unidad de inversión baja, es la más recomendable ya que se tiene suministro de materia prima y el costo de producción es bajo, en comparación a los otros procesos.

Comparando los usos principales del Etileno reportados por el programa con los reportados en el Anuario Estadístico de PEMEX (1993), se observa que no todos los usos que reporta el programa están ubicados en el diagrama del Anuario, esto puede deberse a que el archivo de Balance de Masa (Apéndice D) no cuenta con los balances de los productos no reportados en el programa. A su vez el programa reporta nuevas rutas de utilización para el *ETILENO*, que no están contempladas en el anuario de Petróleos Mexicanos.

El conocer la disponibilidad de exportación y la información general de cualquier químico puede darnos una visión a futuro del comportamiento del mercado, tanto nacional como internacional, y la rentabilidad para producir cualquier producto químico o petroquímico. Para ello debemos de tomar en cuenta la demanda del producto tanto interna como externa, producción, coproducción y, costos de

producción y construcción. La relación exportación/importación nos ayudará a ubicar el producto, dentro y fuera del mercado nacional, ya que un valor positivo de ésta relación indica que una determinada cantidad de producto se puede exportar y que estamos cubriendo en su totalidad la demanda interna del mismo, y un valor negativo indica que hay un déficit en la producción y como consecuencia se debe importar producto para cubrir la demanda interna.

Para el caso del Etileno se tiene un déficit de 348.17 KT en la producción por lo que es necesaria la importación del producto para cubrir la demanda interna del mismo.

La comparación de las estructuras de producción, la generada por el programa y la real (Apéndice G), son parecidas el error que existe en los valores de producción es pequeño y puede deberse al redondeo de las cifras que se manejan en el programa. La similitud en las cifras nos proporciona un criterio más de confianza en los resultados que se obtienen de las Tácticas de Integración.

Las cadenas productivas tanto del Etileno como del Acetaldehído, nos permiten tener una visión más amplia de como obtener un producto deseado, tomando como base a los procesos mediante los cuales se obtienen las materias primas, y de este modo tener diferentes alternativas de procesamiento.

La evaluación de la estructura de producción nos permite cuantificar el número de plantas químicas y petroquímicas necesarias para tener una producción de los químicos que cubra las necesidades del mercado interno. La

estructura de producción obtenida con el programa indica una construcción de 199 plantas, algunas opciones se muestran en la Tabla 5.1, entre las que destacan la construcción de 3 plantas para producir ETILENO con una capacidad de 454 KT.

En lo que respecta a la elaboración de las Tácticas de integración se puede observar lo siguiente:

1. Las tácticas D y F tienen el menor costo de producción pero el mayor costo de importación. Estas tácticas favorecen la construcción de pequeñas plantas, con una inversión pequeña. De forma semejante el volumen de producción y el costo de producción son bajos, pero el costo de importación es alto. Lo opuesto ocurre con las tácticas C y E que favorecen la instalación de plantas grandes con una alta inversión, como resultado generan un alto volumen de producción con un alto costo de producción, pero con un bajo costo de importación.
2. Los costos de producción y costos de importación para las tácticas A y B se encuentran entre los costos de las otras tácticas. La táctica A favorece la instalación de plantas para productos que ofrecen un alto valor agregado. El valor agregado se refiere a la diferencia que existe entre el precio en el mercado del producto principal y el costo para producirlo. La táctica B selecciona la instalación de plantas de acuerdo a la demanda de producto principal en el mercado.
3. Las tácticas A y B dan mayor validez a los criterios económicos. Para el caso de la táctica A, su costo de importación es alto y, para la táctica B se favorece la alta demanda del producto químico, mostrando menores costos de importación.

4. Las inversiones anuales para las tácticas A y B son menores a las otras tácticas y hay menor fluctuación en la inversión anual, teniendo un incremento elevado solo en el año 1998 y una disminución en los años restantes.
5. Otro factor importante que debemos considerar es la disponibilidad de inversión para lograr la mejor secuencia de integración. Las tácticas A y B consideran un límite sobre la inversión por año, y no toman en cuenta el número de plantas que pueden ser construidas anualmente.

Tomando en cuenta los criterios observados en cada una de las tácticas de integración podemos seleccionar a la Táctica A como la más óptima para establecer un esquema de desarrollo económico confiable en nuestro país; ya que esta táctica toma en cuenta los factores económicos y productivos, y establece un límite en la inversión anual con lo que los recursos monetarios no utilizados se pueden invertir en la construcción o mejoramiento de otras plantas.

---

**CAPITULO VII**

**CONCLUSIONES.**

---

## CONCLUSIONES.

Se obtuvo un panorama amplio de las diferentes tecnologías que existen para la producción y uso del *ETILENO*. Del mismo modo podemos hacer el análisis productivo de los químicos y petroquímicos que constituyen la rama productiva de un país, y de los usos principales que les podemos dar.

El programa puede utilizarse para hacer un estudio de selección producto/tecnología que se desee obtener a corto o largo plazo, dependiendo de la política económica y productiva que se elija.

El conocer la disponibilidad de exportación y la información general de cualquier químico puede darnos una visión a futuro del comportamiento del mercado, tanto nacional como internacional, y la rentabilidad para producir cualquier producto químico o petroquímico. Para ello debemos de tomar en cuenta la demanda del producto tanto interna como externa, producción, coproducción y, costos de producción y construcción.

La relación exportación/importación nos ayuda a ubicar el producto, dentro y fuera del mercado nacional, ya que un valor positivo de ésta relación indica que una determinada cantidad de producto se puede exportar y que estamos cubriendo en su totalidad la demanda interna del mismo, y un valor negativo

indica que hay un déficit en la producción y como consecuencia se debe importar producto para cubrir la demanda interna.

Se logró generar las secuencias de integración de acuerdo a la táctica que se seleccionó, para el caso del Etileno se eligió la Táctica "A", que se enfoca en los aspectos económicos y productivos. Esta táctica presenta una distribución más uniforme de los recursos económicos (inversión anual), se establece que se cuenta con la inversión anual necesaria y suficiente para lograr la puesta en marcha del proyecto en el plazo establecido. En los periodos de construcción y de arranque largos se distinguen dos efectos:

1. Solamente un porcentaje de la inversión es requerido en el primer año, por lo que más plantas pueden iniciar su construcción.
2. En el caso en que la inversión para el primer año sea menor a la requerida, la construcción de la planta no se puede llevar a cabo.

Es recomendable que el efecto prevaleciente sea el primero, ya que de este modo se contará con mayor número de plantas en construcción y posteriormente en producción de químicos y petroquímicos necesarios para el desarrollo económico de un país.

Se recomienda complementar las estructuras de procesamiento o "Cadenas Productivas" que se tienen en el Anuario de PEMEX con las que reporta el programa, para tener

CAPÍTULO VII.  
CONCLUSIONES.

---

un panorama más amplio de las rutas de procesamiento y obtención de los diferentes químicos y petroquímicos de interés en el mercado tanto nacional como internacional. De esta forma abrir nuevos mercados que atraigan inversionistas y por ende divisas tan necesarias para la Economía Nacional.

Es necesario aclarar que no se necesitan instalar las tres plantas de producción de *ETILENO*, ya que México cuenta con 4 plantas para producir Etileno vía craqueo de Nafta (una en cada complejo petroquímico), por lo que solo es necesario que dichas plantas trabajen a la capacidad de diseño y, de éste modo cubrir la demanda del producto.

---

**APÉNDICES.**

---

No.	QUÍMICO	FUNCIÓN
1	ACETALDEHIDO	IP
2	ACIDO ACÉTICO	IP
3	ANHIDRIDO ACÉTICO	IP
4	ACETONA	IP
5	ACETILENO	IP
6	ACROLEINA	I
7	ACIDO ACRÍLICO	P
8	ACRILONITRILLO	IP
9	ACIDO ADÍPICO	IP
10	ADIPONITRILLO	I
11	ALQUILBENCENOS (LINEALES)	P
12	ALQUILBENCENOS (RAMIFICADOS)	P
13	ALCOHOL ALÍLICO	I
14	CLORURO DE ALILO	I
15	AMONIACO	IP
16	ANILINA	IP
17	BENCENO	RI
18	ACIDO BENZOICO	IP
19	BISFENOL-A	P
20	BUTADIENO	IP
21	N-BUTANO	R
22	N-BUTANOL	P
23	S-BUTANOL	I
24	N-BUTILENOS	RI
25	N-BUTIRALDEHIDO	I
26	CAPROLACTAMA	P
27	DIOXIDO DE CARBONO	I
28	DISULFURO DE CARBONO	IP
29	MONOXIDO DE CARBONO	I
30	TETRACLORURO DE CARBONO	IP
31	CLOROBENCENO	IP
32	CLOROFORMO	P
33	CLOROPRENO	P
34	CUMENO	I
35	CICLOHEXANO	IP
36	CICLOHEXANOL	I
37	CICLOHEXANONA	I
38	DICLORODIFLUOROMETANO	P
39	DIMETIL TEREFALATO	P
40	DINITROTOLUENO	I
41	DIFENILMETANO DIISOCIANATO	P
42	EPICLOROHIDRINA	I
43	ETANO	R
44	ETANOL	IP
45	ACETATO DE ETILO	P
46	ETILBENCENO	I
47	CLORURO DE ETILO	P
48	ETILENO	IP
49	DICLOROETILENO	IP
50	ETILEN-GLICOL	P
51	OXIDO DE ETILENO	IP
52	2-ETILHEXANOL	P
53	FORMALDEHIDO	IP
54	COMBUSTIBLE GASEOSO (ATM.)	R
55	COMBUSTIBLE GASEOSO (VAC.)	R
56	GLICERINA	P

**TABLA I. QUÍMICOS INCLUIDOS EN EL MODELO.**  
(R = Materia Prima; I = Intermediario; P = Producto Final)

TABLA I. Continuacion.

No.	QUÍMICO	FUNCION
57	HEXAMETILENODIAMINA	I
58	HIDROGENO	I
59	HETEROCENTIANIDA	IP
60	ISOBUTANO	R
61	ISOBUTILENO	RI
62	ISOPENTANO	R
63	ACIDO ISOPHTÁLICO	P
64	ISOPRENO	P
65	ISOPROFANOL	IP
66	CETENO	I
67	ANHÍDRIDO MALÉICO	P
68	METANO	RI
69	METANOL	IP
70	METIL TER-BÚTIL ÉTER	P
71	CLORURO DE METILO	IP
72	METIL CLOROFORMO	P
73	DICLORO METILENO	P
74	METIL-ÉTIL-CETONA	P
75	METIL ISOBUTIL CETONA	P
76	METIL METACRILATO	P
77	ACIDO MONOCLOROACÉTICO	P
78	NAFTA	R
79	NAFTALENO	R
80	NITROBENCENO	IP
81	N-PARAFINAS	R
82	ACIDO PARACÉTICO	I
83	PERCLOROÉTILENO	P
84	FENOL	IP
85	FOSGENO	P
86	ANHÍDRIDO FTÁLICO	IP
87	PROPANO	R
88	PROPILENO	IP
89	DICLORO PROPILENO	I
90	PROPILÉN GLICOL	P
91	OXIDO DE PROPILENO	IP
92	TETRAMERO DE PROPILENO	I
93	ESTIRENO	P
94	ACIDO TEREFTÁLICO	IP
95	TOLUENO	RI
96	TOLUEN-DIAMINA	I
97	TOLUEN-DISOCIANATO	P
98	TRICLOROÉTILENO	IP
99	TRICLOROFLUOROMETANO	P
100	UREA	P
101	ACETATO DE VINILO	P
102	CLORURO DE VINILO	IP
103	M-XILENO	RI
104	O-XILENO	RI
105	P-XILENO	RI

(R = Materia Prima; I = Intermediario; P = Producto Final)

Ho.	A	B	C
1	1	49	
2	1	51	
3	1	44	1
4	1	87	
5	1	21	
6	1	5	
7	2	21	
8	2	1	
9	2	78	
10	2	69	
11	2	24	
12	3	2, 66	
13	3	1	
14	3	2, 5	
15	4	65	2
16	4	65	1
17	4	88	
18	4	5	
19	4	44	
20	4	2	
21	5	68	3*
22	5	68	3**
23	5	43	
24	5	87	
25	5	21	
26	5	70	
27	6	88	
28	6	1, 53	
29	7	6	
30	7	5	

**TABLA 2. LISTA DE LAS TRANSFORMACIONES QUÍMICAS**

(A y B son números de producto principal y de materia prima respectivamente para la tabla 1 y C es un número de identificación para la tabla 3).

No.	A	B	C	No.	A	B	C	No.	A	B	C	No.	A	B	C
1	1	48		55	16	31,15		109	44	49	15	163	71	69	
2	1	44		56	16	84,15		110	45	47,44		164	72	49	
3	1	44	1	57	17	95	7	111	45	*1		165	72	102	
4	1	87		58	17	95	8	112	46	17,48		166	72	43	
5	1	21		59	18	95	1	113	47	48		167	73	68	
6	1	5		60	18	95	4	114	47	43		168	73	71	
7	2	21		61	18	86		115	47	44		169	74	23	
8	2	1		62	17	4,84		116	48	43		170	74	24	
9	2	78		63	20	24	2	117	49	87		171	75	4	
10	2	69		64	20	24	9	118	49	21		172	76	4	
11	2	24		65	20	21		119	48	78	3	173	76	61	
12	3	2,66		66	20	1,44		120	48	78	3	174	77	2	
13	3	1		67	20	1		121	48	54	3	175	80	17	
14	3	2,5		68	20	5,53		122	48	55	3	176	82	1	
15	4	65	2	69	20	44		123	48	5		177	82	5	
16	4	65	1	70	22	25		124	48	44		178	83	98	
17	4	89		71	22	88		125	48	89		179	83	87	
18	4	5		72	23	24		126	49	48	4	180	83	88	
19	4	44		73	25	88		127	49	48	13	181	83	30	
20	4	2		74	25	1		128	50	51		182	84	34	
21	5	68	3*	75	26	37	10	129	50	53		183	84	18	
22	5	68	3**	76	26	37,82		130	50	48		184	84	31	19
23	5	43		77	26	35	11	131	51	48	1	185	84	31	20
24	5	87		78	26	35	12	132	51	48	16	186	84	17	
25	5	21		79	26	18		133	52	25		187	84	36	
26	5	78		80	28	68		134	53	69	1	188	85	29	
27	6	88		81	30	68		135	53	69	1,2	189	86	104	
28	6	1,53		82	30	28		136	56	42		190	86	79	
29	7	6		83	30	87		137	56	13		191	90	91	
30	7	5		84	30	89		138	57	10		192	91	88	16
31	7	53,66		85	30	88		139	58,29	68	17	193	91	88	1
32	7	8		86	31	17	4	140	58,29	68	1	194	91	88,6	
33	7	51		87	31	17	13	141	58,29	78	17	195	92	87,88	
34	7	88		88	32	68		142	58,29	78	1	196	93	46	2
35	8	88		89	32	71		143	58,27	29		197	93	46	1
36	8	5		90	32	4		144	59	68	18	198	93	46,88	1
37	8	51		91	32	44		145	59	15,68		199	94	105	
38	8	1		92	33	20		146	59	15,87		200	94	18	
39	8	6		93	33	5		147	59	15,29		201	94	86	
40	9	37		94	34	17,88		148	63	103		202	96	40	
41	9	36		95	35	17		149	64	62		203	97	96,85	
42	10	9,15		96	36	35		150	64	88		204	98	5	
43	10	20	4,5	97	36	84		151	64	53,61		205	98	49	
44	10	20	5	98	37	36		152	64	4,5		206	98	48	
45	10	8		99	37	84		153	65	88	15	207	99	30	
46	11	17,81	2,6	100	38	30		154	65	88	14	208	100	15,27	
47	11	17,81	4,6	101	38	68		155	66	2		209	101	2,5	
48	12	17,92		102	39	69,94		156	66	4		210	101	2,48	
49	13	6,65		103	39	69,11		157	67	17		211	101	1,3	
50	13	91		104	40	95		158	67	24		212	102	47	
51	13	14		105	41	16,53		159	67	21		213	102	5	
52	14	88		106	42	14		160	69	29,58		214	102	48	
53	15	58		107	42	13		161	70	61,69		215	102	43	
54	16	80		108	44	48	14	162	71	68		216	105	103	

TABLA 3. TRANSFORMACIONES QUÍMICAS QUE CONSTITUYEN EL MODELO.

CODIGO	No. PROC. *	DIRECC. **	NOMBRE
1	1	1	ACETILENO
2	1	1	ACIDO ACETICO
3	1	5	AMBIENTE ACETICO
4	1	11	APETENO
5	1	12	ARCELINO
6	1	17	ARCELINA
7	1	18	ACETILAMIDA
8	1	21	ACIDO ACETICO
9	1	24	ACETONITRILLO
10	1	26	ACIDO ACETICO
11	1	28	ACETONITRILLO
12	1	31	ALCOHOL ALILYL
13	1	32	CLORURO DE ALILYL
14	1	33	AMONIACO
15	1	35	ANILINA
16	1	38	BENCENO
17	1	40	ETILENO
18	1	41	BUTADIENO
19	1	44	1,4-BUTANODIOL
20	1	48	N-BUTANOL
21	1	52	S-BUTANOL
22	2	53	N-BUTIRALDEHIDO
23	5	55	CAPROLACTAMA
24	2	60	MONOXIDO DE CARBONO
25	1	62	CLORO
26	2	63	CLOROBENCENO
27	2	65	CLOROFORMO
28	1	67	CUMENO
29	1	68	CICLOHEXANO
30	3	69	CICLOHEXANOL
31	2	72	CICLOHEXANONA
32	2	74	DIMETIL TEREFALATO
33	1	76	DINITROTOLUENO
34	1	77	EPICLOROHIDRINA
35	1	78	ETANOL
36	3	79	ETIL ACRILATO
37	1	82	ETILBENCENO
38	10	83	ETILENO
39	2	93	DICLORCETILENO
40	2	95	ETILENGLICOL
41	3	97	OXIDO DE ETILENO
42	2	100	2-ETILHEXANOL
43	1	102	FORMALDEHIDO
44	3	103	GLICERINA
45	3	106	HEXAMETILENDIAMINA
46	3	109	HIDROGENO
47	1	112	HIDROGENCIANICA
48	2	113	PEROXIDO DE HIDROGENO
49	1	115	ISOBUTANO
50	1	116	ISOBUTILENO
51	2	117	ISOCTANOL
52	1	119	ACIDO ISOFTALICO
53	3	120	ISOPRENO
54	2	123	ISOPROPANOL
55	2	125	ANHIDRIDO MALEICO
56	4	127	MELAMINA
57	3	131	METANOL
58	1	134	ACRILATO DE METILO
59	1	135	MDI
60	2	136	METIL ETIL CETONA

**ARCHIVO QUÍMICO.**

\* No. de procesos para producir al químico,  
 \*\* Dirección del primer proceso en el archivo de procesos

Continuación.

CODIGO	No. PROC *	DIRECC **	NOMBRE
61	1	138	METH. ISOBUTIL. CETONA
62	2	139	METACRILATO DE METILO
63	1	141	ACIDO NITRICO DILUIDO
64	1	142	ACIDO NITRICO
65	1	143	NITROBENCENO
66	4	144	FENOL
67	1	148	FOSGENO
68	2	149	ANHIDRIDO FTALICO
69	1	151	PROPILENO GR. QUIMICO
70	2	152	PROPILENO GR. POLIMERO
71	1	300	PROPILÉN GLICOL
72	2	154	OXIDO DE PROPILENO
73	2	156	ESTIRENO
74	1	158	ACIDO SULFURICO
75	2	159	GAS DE SINTESIS 1:1
76	3	161	GAS DE SINTESIS 2:1
77	3	164	GAS DE SINTESIS 3:1
78	2	167	ACIDO TEREFALICO GR.FIB.
79	2	169	ACIDO TEREFALICO CRUDO
80	1	171	TOLUENDIAMINA
81	1	172	TOLUENDISOCIANATO
82	2	173	UREA
83	4	175	ACETATO DE VINILO
84	3	179	CLORURO DE VINILO
85	3	182	CLOROVINILDENO
86	2	185	P-XILENO
87	2	187	ACETAL RESINAS
88	3	189	ABS
89	1	192	RESINAS BARRIER (BAREX)
90	2	195	RESINA EPOXY LIQUIDA
91	1	198	FORMALDEHIDO DE MELAMINA
92	1	200	RESINA DE NYLON 6 (CHIPS)
93	1	203	FENOL FORMALDEHIDO
94	1	205	POLIACRILAMIDA
95	1	206	POLIACRILATO DE LATEX
96	2	208	POLIMETIL METACRILATO
97	1	210	POLIBUTANOS
98	1	211	POLIISOBUTILENOS
99	1	212	POLIBUTILEN TEREFALATO F.R.
100	3	214	POLICARBONATOS
101	1	218	POLIETER POLIOL HEXOL
102	1	221	POLIETILEN GLICOL
103	6	223	POLIETILENO DE A.D.
104	3	229	POLIETILENO DE B.D.
105	2	232	POLIETILEN TEREFALATO
106	5	234	POLIPROPILENO
107	1	239	POLIESTIRENO GR. CRISTAL
108	2	240	POLIESTIRENO GR. IMPACTO
109	1	242	POLIESTIRENO EXPANDIBLE
110	1	243	POLIURETANO FLEXIBLE
111	1	244	POLIURETANO RIGIDO
112	2	245	ACETATO DE POLIVINILO
113	1	247	ACETATO DE POLIVINILO LAT.
114	1	248	COPOLIMEROS DE ACETATO VIN.
115	1	249	ALCOHOL DE POLIVINILO
116	1	250	POLIVINIL BUTIRAL
117	2	251	PVC
118	2	253	PVC LATEX
119	1	255	CLOROACETATO DE VINILO
120	4	256	SAN

\* No. de procesos para producir al químico,

\*\* Dirección del primer proceso en el archivo de procesos

Continuación.

CODIGO	No. PROC.	DIRECC.	HOMBRE
121	5	260	POLIESTER INS.
122	1	267	UREA-FORMALDEHIDO
123	1	269	COPOLIMEROS CLORO VINILDIEHO
124	1	270	TERPOLIMERO LATEX
125	4	271	FIBRAS ACRILICAS
126	1	279	BUTYL ELASTICO(RUBBER)
127	1	280	ELASTOMEROS PROPILLEN-ETILENO
128	2	283	NEOPRENO
129	1	307	ELASTICO DE NITRILO
130	1	285	LATEX ELASTICO DE NITRILO
131	4	286	POLIBUTADIENO ELASTICO
132	2	290	POLIISOPRENO
133	1	292	POLIISOPRENO LATEX
134	2	293	ESTIREN-BUTADIENO ELAS.SBR
135	1	295	SBR LATEX
136	1	296	COPOLIMEROS DE ESTIRENO BL.
137	1	297	ELASTOMEROS DE COPOLIMEROS TERMOPLAST.
138	1	298	ELASTOMEROS DE OLEFINAS TER.
139	2	299	POLIURETANO TERMOPLASTICO
140	1	301	CROTONALDEHIDO
141	1	222	POLIPROPILENGLICOL
142	4	275	FIBRAS MODACRILICAS
143	1	193	RESINA ELASTICA (CYCOPAC)
144	1	194	RESINA ELASTICA (LOPAC)
145	1	197	RESINA EPOXICA SOLIDA
146	1	199	MELAMIN-FORMALDEHIDO SYRUP
147	1	201	RESINA NYLON 6 FUNDIDA
148	1	202	RESINA NYLON 66 (CHIPS)
149	1	204	FENOL-FORMALDEHIDO SYRUP
150	1	207	PELLETS DE POLIACRILATO
151	1	213	POLIBUTILEN TEREFALATO
152	1	217	POLICARBONATO RESIST.FL.
153	1	219	POLIETER POLIOL PHOS.
154	1	220	POLIETER POLIOL TRIOL
155	1	265	POLIESTER INS.RES.CORR.
156	1	266	POLIESTER INS.RET.DE FUEGO
157	1	268	UREA-FORMALDEHIDO SYRUP
158	2	281	ETILENO-PROPILENO ELAS. (EDPM)
159	1	302	HEXIL TERBUTIL ETER
160	2	303	POLIETILEN TEREFALATO G.EMB.
161	1	305	POLIETILENO LINEAL B.D.
162	0	0	0
163	0	0	0
164	0	0	0
165	0	0	0
166	0	0	0
167	0	0	0
168	0	0	0
169	0	0	0
170	0	0	0
171	0	0	CARBON ACTIVADO
172	0	0	SULFATO DE AMONIO
173	0	0	ACIDO BORICO
174	0	0	N-BUTANO
175	0	0	T-BUTANOL
176	0	0	I-BUTANO
177	0	0	BUTANOS
178	0	0	N-BUTILENOS
179	0	0	CARBONATO DE CALCIO
180	0	0	CLORURO DE CALCIO

\* No. de procesos para producir al químico,

\*\* Dirección del primer proceso en el archivo de procesos

Continuación.

CODIGO	No. PROC *	DIRECC. **	NOMBRE
181	0	0	OXIDO DE CALCIO
182	0	0	DIOXIDO DE CARBONO
183	0	0	CARBON
184	0	0	COKE
185	0	0	DICLOROBENCENO
186	0	0	DIETILEN GLICOL
187	0	0	DIFROPILEN GLICOL
188	0	0	ETANO
189	0	0	ACETATO DE ETILO
190	0	0	CLORURO DE ETILO
191	0	0	COMBUSTIBLE GASEOSO
192	0	0	COMBUSTIBLE ACEITOSO A.S.
193	0	0	COMBUSTIBLE ACEITOSO B.S.
194	0	0	COMBUSTIBLE GASEOSO
195	0	0	HEPTANOS
196	0	0	HEXAMETILENTETRAMIDA
197	0	0	CLORURO DE HIDROGENO
198	0	0	ISOBUTANOL
199	0	0	ISOBUTIRALDEHIDO
200	0	0	METANO
201	0	0	ACETATO DE METILO
202	0	0	CLORURO DE METILO
203	0	0	CLORURO DE METILENO
204	0	0	NAFTA
205	0	0	NAFTALENO
206	0	0	NITROGENO
207	0	0	OLEUM
208	0	0	OXIGENO
209	0	0	PENTANOS
210	0	0	ACIDO FOSFORICO
211	0	0	PROPANO
212	0	0	PROPILENO GR. REFINERIA
213	0	0	DICLORO PROPILENO
214	0	0	GASOLINA DE PIROLISIS
215	0	0	BICARBONATO DE SODIO
216	0	0	BISULFITO DE SODIO
217	0	0	CARBONATO DE SODIO
218	0	0	CLORURO DE SODIO
219	0	0	HIDROXIDO DE SODIO
220	0	0	SULFATO DE SODIO
221	0	0	SORBITOL
222	0	0	SULFURO
223	0	0	TETRAHIDROFURANO
224	0	0	TOLUENO
225	0	0	TRICLOROETILENO
226	0	0	TRITILEN GLICOL
227	0	0	M-XILENO
228	0	0	O-XILENO
229	0	0	XILENOS
230	0	0	BYPRODUCTOS
231	0	0	QUIMICOS
232	0	0	ACIDO FORMICO
233	0	0	ACIDO SUCCINICO
234	0	0	DICLOROPROPILENOS
235	0	0	CICLOHEXILAMINA
236	0	0	1,2-BUTANODIOL

\* No. de procesos para producir al químico.  
 \*\* Dirección del primer proceso en el archivo de procesos

APÉNDICE B

2000-0000-0000

CODIGO	No. PROC.	DIRECC. *	NOMBRE
237	0	0	2-METIL-1, 3-PROPANODIOL
238	0	0	HEXANO
239	0	0	DIISORUTIL CARBINOL
240	0	0	METILNAFTALENO
241	0	0	PENTANO
242	0	0	SEC-BUTIL ETER
243	0	0	POLIBUTADIENO
244	0	0	ACIDO METACRILICO
245	0	0	CLORURO DE ALUMINA
246	0	0	HEPTANO
247	0	0	I-BUTANO
248	0	0	FREON 11
249	0	0	ANHIDRIDO TETRABROMOFTALICO
250	0	0	ISOPROPILACRILAMIDA
251	0	0	BROMURO DE VINILO
252	0	0	ISOPENTANO
253	0	0	CLORURO DE HIDROGENO DILUIDO
254	0	0	GLICOL POLITETRAMETILEN ETER

\* No. de procesos para producir al químico,

\*\* Dirección del primer proceso en el archivo de procesos

ID DEL PROCESO	ENERGÍA (FOET)	CAPACIDAD (KT)	UNIDAD DE INV. \$/T	PUNTERO *
1	0.22	136	230	1
2	0.17	136	420	4
3	0.22	136	170	7
4	0.27	136	220	9
5	0.29	136	220	11
6	0.21	136	410	15
7	0.22	136	220	18
8	0.32	136	420	23
9	0.37	136	160	28
10	0.33	68	160	30
11	0.77	68	330	33
12	0.04	136	1310	36
13	2.45	136	990	44
14	0.57	136	590	49
15	1.36	136	740	53
16	1.41	136	500	58
17	0.92	18	800	62
18	0.38	14	620	65
19	0.2	14	810	69
20	0.45	14	910	74
21	0.29	91	830	78
22	0.58	45	630	84
23	2.87	90	80	1313
24	0.15	181	520	89
25	0.6	181	210	93
26	0.73	136	540	98
27	0.23	23	460	103
28	0.34	23	340	106
29	1.52	23	570	110
30	0.27	18	380	112
31	0.83	18	350	115
32	0.23	90	220	121
33	0.45	345	230	127
34	0.02	345	250	129
35	0.03	45	190	131
36	0.63	45	250	134
37	0.27	45	210	139
38	0.08	90	60	144
39	0.28	90	90	148
40	0.17	45	580	152
41	1.63	90	740	158
42	1.29	90	380	164
43	0.65	90	530	166
44	0.56	27	1550	168
45	1.29	27	1650	174
46	1.66	27	1980	180
47	0.31	27	870	192
48	0.43	68	370	199
49	0.13	68	310	205
50	0.12	68	330	212
51	0.06	70	60	1298
52	0.71	45	220	219
53	0.12	28	440	224

**ARCHIVO DE PROCESO.**

\* Puntero para el archivo de balance de materia

APÉNDICE C.

Continuación.

ID DEL PROCESO	ENERGÍA (FOET)	CAPACIDAD (KT)	UNIDAD DE INV. \$/T	PUNTERO *
54	0.01	70	30	1301
55	1.03	68	1500	231
56	1.26	68	1650	239
57	0.65	68	1270	247
58	1.78	68	1600	255
59	5.20	68	1240	261
60	0.52	159	170	271
61	0.06	159	170	274
62	0.84	181	400	277
63	0.12	55	120	283
64	0.20	55	120	288
65	0.19	45	320	292
66	0.26	45	340	297
67	0.06	127	120	301
68	-0.01	100	80	305
69	0.43	23	550	309
70	0.56	23	440	313
71	0.83	23	510	318
72	0.09	68	120	321
73	0.34	68	460	323
74	0.32	150	820	326
75	0.40	150	300	329
76	0.12	55	220	332
77	0.40	90	180	337
78	0.74	272	390	341
79	0.39	45	300	344
80	1.13	23	440	349
81	0.47	23	410	354
82	0.02	522	60	362
83	0.87	454	360	366
84	1.20	454	640	373
85	0.94	454	620	379
86	0.74	454	330	386
87	1.01	454	400	393
88	0.93	454	620	399
89	1.25	454	660	406
90	1.25	454	670	413
91	0.21	23	140	419
92	0.20	454	140	423
93	0.10	272	20	425
94	0.10	272	40	428
95	0.33	181	150	431
96	0.64	181	390	435
97	-0.07	136	620	441
98	0.01	136	430	443
99	0.47	45	380	447
100	0.49	64	560	453
101	0.09	65	160	1304
102	-0.03	45	270	461
103	0.93	45	550	463
104	0.64	45	200	471
105	0.38	45	210	477
106	1.65	91	1090	481
107	0.14	32	810	484
108	0.50	91	800	489
109	1.99	83	410	494

\* Puntero para el archivo de balance de materia

Continuación

ID DEL PROCESO	ENERGIA (FOET)	CAPACIDAD (KT)	UNIDAD DE INV. \$/T	PUNTERO *
110	2.27	23	390	472
111	0.56	52	380	472
112	0.13	59	710	504
113	0.77	36	1270	508
114	1.43	16	1580	513
115	0.14	124	50	517
116	0.19	80	230	521
117	0.17	64	300	524
118	0.29	64	290	532
119	0.49	45	340	541
120	0.99	40	530	543
121	0.79	36	420	547
122	1.68	36	420	554
123	0.39	272	200	557
124	0.38	272	200	561
125	0.15	27	910	564
126	0.41	27	1140	566
127	0.69	40	850	568
128	0.87	40	900	572
129	0.71	40	990	575
130	0.93	40	890	578
131	0.40	318	170	582
132	0.23	318	200	584
133	0.25	318	190	587
134	0.39	45	300	591
135	0.36	45	630	596
136	1.00	45	150	603
137	0.48	45	520	606
138	0.25	23	210	609
139	0.24	45	820	611
140	0.40	45	850	618
141	0.00	181	60	622
142	0.00	66	180	624
143	0.15	68	210	627
144	0.38	91	460	631
145	0.53	45	550	637
146	0.48	45	480	640
147	0.21	45	580	644
148	0.07	61	200	649
149	0.07	32	580	652
150	-0.12	32	380	654
151	0.01	181	30	656
152	0.01	181	40	659
153	0.00	0	0	1329
154	0.41	181	340	665
155	0.83	181	870	673
156	0.32	454	190	679
157	0.43	454	370	683
158	0.01	306	50	688
159	0.12	1265	180	690
160	-0.06	1265	60	692
161	-0.15	900	280	695
162	0.39	900	150	699
163	0.03	900	90	701

\* Puntero para el archivo de balance de materia

Continuación.

ID DEL PROCESO	ENERGIA (FOET)	CAPACIDAD (KT)	UNIDAD DE INV. \$/T	PUNTERO *
164	-0.17	720	320	704
165	0.16	720	120	705
166	0.38	720	120	711
167	0.34	150	910	713
168	0.59	181	150	716
169	0.37	181	240	718
170	0.70	181	210	723
171	0.49	36	420	727
172	0.43	45	430	730
173	0.07	340	150	731
174	0.11	340	190	737
175	0.39	136	380	740
176	0.15	136	270	744
177	0.95	136	350	748
178	0.70	135	90	1307
179	0.44	272	290	752
180	0.17	181	80	756
181	0.05	272	130	759
182	0.21	23	630	763
183	0.35	23	910	770
204	0.01	25	240	871
205	0.81	5	1930	877
206	0.19	7	700	880
207	0.25	7	840	885
208	0.19	18	1630	890
209	0.07	18	520	892
210	0.17	27	380	894
211	0.66	11	710	899
212	0.28	15	1370	904
213	0.24	9	1900	909
214	1.11	18	2050	913
215	0.68	9	2110	921
216	1.11	18	2090	928
217	1.11	18	2010	936
218	0.12	45	330	944
219	0.05	5	890	947
220	0.18	45	330	951
221	0.01	9	330	954
222	0.09	9	420	959
223	0.15	91	440	965
224	0.42	91	530	969
225	0.19	91	440	973
226	0.16	91	440	975
227	0.40	91	530	977
228	0.25	91	420	981
229	0.34	100	890	985
230	0.25	100	770	988
231	0.34	100	800	991
232	0.22	45	710	994
233	0.26	45	650	998
234	0.31	91	790	1001
235	0.25	91	660	1008
236	0.77	91	830	1011
237	0.77	91	870	1017
238	0.36	91	640	1019

\* Puntero para el archivo de balance de materia

CONTINUACIÓN.

ID DEL PROCESO	ENERGÍA (KWH)	CAPACIDAD (LTS)	UNIDAD DE MEDIDA	FUENTE
239	0.05	68	100	1024
240	0.14	68	470	1024
241	0.21	68	480	1024
242	0.11	18	820	1032
243	0.04	3	1430	1037
244	0.04	3	1430	1041
245	0.43	45	620	1047
246	0.07	45	400	1051
247	0.06	45	310	1056
248	0.06	45	510	1059
249	1.96	45	1400	1064
250	3.00	11	2410	1072
251	0.10	100	550	1079
252	0.31	100	620	1081
253	0.39	100	790	1084
254	0.47	45	970	1097
255	0.31	23	830	1090
256	0.19	14	570	1094
257	0.11	14	500	1097
258	0.10	14	470	1103
259	0.08	14	350	1109
260	0.04	19	250	1113
261	0.04	12	360	1118
262	0.02	26	200	1123
263	0.01	26	190	1129
264	0.03	26	200	1135
265	0.04	14	210	1140
266	0.04	14	210	1145
267	0.36	25	1120	1151
268	0.05	25	180	1156
269	0.15	23	1060	1160
270	0.09	23	670	1164
271	0	0	0	1169
272	0	0	0	1173
273	0	0	0	1177
274	0	0	0	1181
275	0	0	0	1185
276	0	0	0	1189
277	0	0	0	1194
278	0	0	0	1198
279	1.27	41	1320	1203
280	0.56	14	1470	1207
281	1.07	27	1630	1211
282	0.77	27	1350	1217
283	0.08	34	1540	1223
284	0.61	34	1220	1232
285	0.08	23	80	1231
286	0.74	91	1130	1235
287	0.67	91	960	1239
288	1.14	91	960	1243
289	0.97	91	840	1247
290	0.84	45	860	1251
291	0.73	45	780	1255
292	0.16	9	360	1259
293	0.20	68	770	1262

\* Puntero para el archivo de balance de materia

APÉNDICE C

7. Materiales

CÓDIGO	PUNTERO (FOET)	CANTIDAD (FT)	UNIDAD DE INV. \$/FT	PUNTERO *
294	0.38	64	840	1266
295	0.08	23	800	1273
296	0.60	18	1090	1277
297	0.32	9	1110	1282
298	0.17	10	800	1286
299	0.30	5	1450	1290
300	0.33	5	1660	1294
301	0.13	70	120	1311
302	0.07	45	44	1316
303	0.00	0	0	1319
304	0.00	0	0	1322
305	0.25	100	770	1326
306	0.26	45	200	662
307	0.20	68	770	1227

\* Puntero para el archivo de balance de materia

A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	-0.02	193	7	1	1	8	-1.17	15	9	1	1	10	1	1	11	-0.01	24
11	-0.08	57	12	1	2	13	-0.08	1	14	-0.04	201	15	1	1	1	1	1
16	-0.03	174	17	0.03	230	18	1	1	19	0.09	177	20	1	1	1	-0.01	194
21	0.06	232	22	-0.01	231	23	1	3	24	-1.09	1	25	1	1	1	0.21	1
26	-0.01	189	27	0.03	230	28	1	3	29	-1.35	2	30	1	1	1	1	4
31	-1.11	54	32	-0.04	206	33	1	4	34	-0.08	253	35	1	1	1	-0.85	69
36	-0.01	212	37	-0.43	231	38	1	5	39	1.15	38	40	1	1	1	1.1	191
41	-8.34	192	42	-7.67	208	43	5.47	76	44	1	5	45	1	1	1	-1.45	175
46	-1.85	194	47	1	5	48	-0.06	231	49	1	5	50	1	1	1	-1.23	200
51	-4.5	206	52	4.01	76	53	1	5	54	-0.01	164	55	0.54	191	1	1	1
56	-4.31	204	57	-4.31	208	58	1	5	59	-3	198	60	0.57	191	1	1	1
61	0.19	193	62	1	6	63	0.12	193	64	-1.16	76	65	1	1	1	1	7
66	-0.76	9	67	-0.02	171	68	-0.01	46	69	1	7	70	-0.79	9	1	1	9
71	-0.02	171	72	-0.06	219	73	-0.07	74	74	1	7	75	-0.92	9	1	1	9
76	-0.63	14	77	-1.77	74	78	1	8	79	0.05	2	80	-0.01	199	1	1	9
81	-0.46	208	82	-0.72	69	83	-0.01	231	84	1	8	85	-0.12	5	1	1	5
86	-0.51	24	87	-0.01	60	88	-0.01	231	89	1	9	90	-0.43	14	1	1	14
91	-1.2	69	92	-0.15	74	93	1	9	94	-0.76	38	95	-0.17	197	1	1	197
96	-0.6	47	97	-0.9	209	98	1	10	99	-0.76	29	100	-0.9	63	1	1	63
101	0.05	233	102	-0.01	231	103	1	10	104	-0.74	30	105	-0.73	63	1	1	63
106	1	11	107	-1.37	10	108	-0.46	14	109	-0.12	216	110	1	10	1	1	10
111	-0.98	9	112	1	12	113	-1.11	72	114	-0.02	231	115	1	12	1	1	12
116	-1.04	6	117	-1.31	21	118	-0.38	180	119	1.24	60	120	-0.53	231	1	1	231
121	1	13	122	-1.32	25	123	0.27	231	124	0.64	197	125	-0.73	69	1	1	69
126	-0.01	219	127	1	14	128	-0.42	200	129	1	14	130	-1.02	204	1	1	204
131	1	13	132	-0.07	46	133	-1.34	65	134	1	15	135	-0.22	14	1	1	14
136	-1.25	30	137	-0.13	235	138	-0.06	46	139	1	15	140	-0.22	14	1	1	14
141	-0.04	208	142	-1.04	66	143	-0.01	231	144	1	16	145	-0.07	46	1	1	46
146	0.24	200	147	-1.2	224	148	1	16	149	0.01	191	150	-2.69	224	1	1	224
151	1.61	229	152	1	17	153	-0.28	4	154	-0.02	16	155	-0.83	68	1	1	68
156	-0.01	219	157	-0.01	231	158	1	18	159	-0.01	14	160	-1.46	178	1	1	178
161	-0.01	74	162	0.65	230	163	-0.01	231	164	1	18	165	-1.19	178	1	1	178
166	1	18	167	-1.9	174	168	1	19	169	-0.32	5	170	0.03	20	1	1	20
171	-0.75	43	172	-0.07	46	173	-0.01	231	174	1	19	175	-0.17	7	1	1	7
176	-0.73	18	177	-0.04	46	178	0.16	230	179	-0.01	231	180	1	19	1	1	19
181	-0.04	2	182	-0.04	16	183	0.15	236	184	-0.04	46	185	0.12	193	1	1	193
186	-0.11	57	187	0.15	237	188	-0.48	208	189	-0.76	69	190	-0.49	75	1	1	75
191	-0.02	231	192	1	19	193	-0.02	16	194	-0.03	46	195	0.26	237	1	1	237
196	-0.93	72	197	-0.44	75	198	-0.02	231	199	1	20	200	-0.54	24	1	1	24
201	0.38	193	202	-0.07	46	203	0.14	198	204	-0.92	69	205	1	20	1	1	20
206	0.1	191	207	0.03	193	208	0.11	198	209	-0.74	69	210	-0.62	76	1	1	76
211	-0.01	231	212	1	20	213	0.05	191	214	0.03	193	215	-0.03	46	1	1	46
216	0.08	198	217	-0.69	69	218	-0.51	75	219	1	21	220	-1.14	178	1	1	178
221	0.33	193	222	-0.02	219	223	-0.01	74	224	1	22	225	0.03	21	1	1	21
226	-0.64	24	227	-0.5	46	228	0.02	198	229	0.25	199	230	-0.88	69	1	1	69
231	1	23	232	-1.32	14	233	4.25	172	234	0.05	193	235	-0.05	46	1	1	46
236	-3.15	207	237	-0.3	219	238	-1.11	224	239	1	23	240	-0.92	14	1	1	14
241	2.6	172	242	-1.06	29	243	-0.04	46	244	-2.1	207	245	-0.55	208	1	1	208
246	0.04	230	247	1	23	248	-1.48	14	249	4.4	172	250	-0.05	46	1	1	46
251	-1.36	207	252	-0.92	66	253	-0.67	222	254	0.05	230	255	1	23	1	1	23
256	-0.68	14	257	1.85	172	258	-0.91	29	259	-0.05	197	260	-1.39	207	1	1	207
261	1	23	262	-0.93	14	263	2.96	172	264	-0.96	31	265	0.07	193	1	1	193
266	-0.04	46	267	-2.76	207	268	-0.49	208	269	-0.93	74	270	0.1	230	1	1	230
271	1	24	272	0.23	46	273	-0.64	200	274	1	24	275	0.25	46	1	1	46
276	-0.8	204	277	1	25	278	0.03	191	279	-0.04	217	280	-1.68	218	1	1	218

ARCHIVO DE BALANCE DE MATERIA

- A: número de registro,
- B: coeficiente de balance de masa
- C: código correspondiente a cada químico (ID)

A	H	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
281	1	219	282	-0.78	24	284	1	26	284	-0.77	16	285	-0.79	25
286	0.11	185	287	0.4	253	288	1	26	289	-0.78	16	290	-0.5	197
291	-0.01	219	292	1	27	293	-0.71	18	294	-0.89	25	295	-0.66	219
296	-0.62	31	297	1	27	298	-0.68	5	299	-0.01	238	300	-0.49	197
301	1	28	302	-0.67	16	303	-0.38	69	304	0.05	230	305	1	29
306	-0.94	16	307	0.03	191	308	-0.07	46	309	1	30	310	-1.64	29
311	0.38	31	312	-0.13	219	313	1	30	314	-0.01	173	315	-1	29
316	0.07	31	317	-0.33	219	318	1	30	319	-0.01	173	320	-0.91	29
321	1	31	322	-1.09	30	323	1	31	324	-1.05	29	325	0.02	191
326	1	32	327	-0.41	57	328	-0.63	88	329	1	32	330	-0.35	57
331	-0.98	79	332	1	33	333	-0.18	63	334	-0.84	64	335	-0.03	74
336	-0.53	224	337	1	34	338	-0.98	13	339	-0.76	181	340	-0.9	25
341	1	35	342	-0.75	38	343	0.06	191	344	1	38	345	-0.77	8
346	-0.48	35	347	-0.07	219	348	-0.05	74	349	1	36	350	-0.58	9
351	-0.53	35	352	-1.2	74	353	-0.01	231	354	1	36	355	-0.32	5
356	-0.35	24	357	-0.53	35	358	-0.04	197	359	-0.04	217	360	-0.1	219
361	-0.02	231	362	1	37	363	-0.74	16	364	-0.27	38	365	0.01	192
366	1	38	367	0.06	177	368	-0.92	188	369	0.48	191	370	-0.92	211
371	0.14	69	372	0.16	214	373	1	38	374	0.46	177	375	1.09	193
376	-4.5	194	377	0.7	69	378	0.74	214	379	1	38	380	0.37	177
381	0.58	191	382	0.05	193	383	-3.25	204	384	0.63	69	385	0.64	214
386	1	38	387	0.04	177	388	-1.3	188	389	0.18	191	390	0.04	69
391	0.06	214	392	-0.01	213	393	1	38	394	0.08	177	395	0.77	191
396	-2.36	211	397	0.24	69	398	0.27	214	399	1	38	400	0.36	177
401	0.5	191	402	0.25	193	403	-3.92	204	404	0.6	69	405	1.21	214
406	1	38	407	0.83	177	408	0.39	191	409	2.16	193	410	-6.02	194
411	0.85	69	412	1.1	214	413	1	38	414	0.57	177	415	1.25	193
416	-0.53	194	417	0.8	69	418	1.4	214	419	1	38	420	-1.09	5
421	1.24	191	422	-0.31	46	423	1	38	424	-1.75	38	425	1	39
426	-0.7	25	427	-0.36	38	428	1	39	429	-0.32	38	430	-0.94	253
431	1	40	432	0.11	186	433	-0.87	41	434	0.03	226	435	1	40
436	-0.03	2	437	-0.51	38	438	-0.02	200	439	-0.31	208	440	-0.01	231
441	1	41	442	-0.98	38	443	1	41	444	-0.88	38	445	-1.1	208
446	-0.01	231	447	1	41	448	-1.47	181	449	-1.88	25	450	-0.78	38
451	0.18	39	452	-0.04	219	453	1	42	454	0.11	20	455	-0.63	24
456	0.45	193	457	-0.08	46	458	0.16	198	459	-1.04	69	460	-0.25	231
461	1	43	462	-1.18	57	463	1	44	464	-1	13	465	-0.78	181
466	-0.93	25	467	-0.08	197	468	-0.07	217	469	-0.49	219	470	-0.01	224
471	1	44	472	-1.03	34	473	-0.28	197	474	-0.07	217	475	-0.49	219
476	-0.01	224	477	1	44	478	-0.75	12	479	-0.45	48	480	-0.01	219
481	1	45	482	-0.99	9	483	-0.07	46	484	1	48	485	-1.03	11
486	0	230	487	-0.07	46	488	0	231	489	1	46	490	-0.08	14
491	-0.83	18	492	-0.07	46	493	-0.61	47	494	1	46	495	-2.25	200
496	1	46	497	-2.63	204	498	1	46	499	3.64	182	500	7.84	24
501	-4.17	204	502	-4.44	208	503	-0.09	74	504	1	47	505	-0.75	14
506	-1.02	200	507	-0.01	210	508	1	48	509	-0.02	239	510	-0.08	46
511	-0.02	240	512	-0.07	231	513	1	48	514	2.11	4	515	-2.26	54
516	-0.12	231	517	1	49	518	-1.07	174	519	-0.01	46	520	0.02	241
521	1	60	522	-2.53	177	523	1.51	178	524	1	51	525	-0.01	2
526	-0.27	24	527	0.19	193	528	-1.08	195	529	-0.04	46	530	-0.01	219
531	-0.02	231	532	1	51	533	-0.33	24	534	-0.01	40	535	0.41	193
536	-1.39	195	537	-0.07	46	538	-0.04	215	539	-0.04	74	540	-0.01	231
541	1	52	542	-0.71	227	543	1	53	544	0.64	193	545	-2.08	69
546	-0.01	21	547	1	53	548	0.09	175	549	-0.62	43	550	-0.94	50
551	-0.01	219	552	-0.01	74	553	0.13	230	554	1	53	555	-1	209
556	-0.01	231	557	1	54	558	-0.01	171	559	0.02	191	560	-0.73	69
561	1	54	562	-0.01	171	563	-0.83	69	564	1	55	565	-1.19	16
566	1	65	567	-1.22	174	568	1	56	569	0.86	14	570	-3.04	82

A: número de registro,  
 B: coeficiente de balance de massa  
 C: código correspondiente a cada químico (ID)

Continuación.

A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
571	-0.01	231	572	1	57	573	-0.68	14	574	-3.11	14	575	-0.84	14	576	-1.91	92
576	-0.95	14	577	-3.11	83	578	1	56	579	0.84	14	580	-1.91	92			
581	-0.01	231	582	1	57	583	-0.49	200	584	1	57	585	-0.84	14	586	-0.84	14
586	-0.92	77	587	1	57	588	-0.36	183	589	-0.02	74	590	-0.84	14			
591	1	58	592	-0.88	8	593	-0.39	57	594	-0.07	219	595	-0.66	74			
596	1	59	597	-0.8	15	598	-0.03	26	599	-0.16	43	600	0.46	197			
601	-0.84	67	602	-0.18	219	603	1	60	604	-1.1	21	605	-0.09	206			
606	1	60	607	-0.84	178	608	0.12	242	609	1	61	610	-1.22	4			
611	1	62	612	-0.68	4	613	-0.32	47	614	-0.37	57	615	-1.63	74			
616	1	62	617	-1.12	50	618	-0.38	57	619	-0.03	241	620	-0.01	74			
621	-0.01	231	622	1	63	623	-0.26	14	624	1	64	625	-0.28	14			
626	-0.17	208	627	1	65	628	-0.66	16	629	-0.54	63	630	-0.03	74			
631	1	66	632	0.61	4	633	-1.35	28	634	-0.01	219	635	-3.01	74			
636	-0.01	231	637	1	66	638	-1.19	26	639	0.48	197	640	1	66			
641	-1.31	26	642	-0.47	253	643	-1.06	219	644	1	66	645	-0.94	16			
646	-1.19	207	647	-1.64	219	648	1.93	220	649	1	67	650	-0.3	24			
651	-0.73	25	652	1	68	653	-0.97	228	654	1	68	655	-1.02	205			
656	1	69	657	0.33	211	658	-1.33	212	659	1	70	660	0.43	211			
661	-1.43	212	662	1	71	663	0.1	187	664	-0.89	72	665	1	72			
666	-0.01	14	667	-1.2	181	668	-1.46	25	669	-0.03	197	670	-0.83	69			
671	0.1	213	672	-0.01	231	673	1	72	674	0.23	193	675	-2.61	49			
676	2.15	60	677	-1.13	208	678	-0.78	69	679	1	73	680	0.03	16			
681	-1.15	37	682	0.05	224	683	1	73	684	-1.14	37	685	-0.33	89			
686	0.41	72	687	-0.01	219	688	1	74	689	-0.33	222	690	1	75			
691	-0.55	200	692	1	75	693	-0.52	192	694	-0.53	208	695	1	76			
696	0.02	14	697	-2.11	183	698	0.09	222	699	1	76	700	-0.41	204			
701	1	76	702	-0.73	192	703	-0.74	208	704	1	77	705	0.03	14			
706	-2.48	153	707	0.11	222	708	1	77	709	-0.91	192	710	-0.93	208			
711	1	77	712	-0.77	200	713	1	75	714	-0.06	2	715	-0.67	86			
716	1	76	717	-1.02	79	718	1	79	719	0.26	2	720	-0.24	60			
721	-0.88	208	722	-0.68	86	723	1	79	724	-0.63	1	725	0.55	2			
726	-0.72	86	727	1	80	728	-1.66	33	729	-0.11	46	730	1	51			
731	-0.01	26	732	-1.26	67	733	-0.76	60	734	1	82	735	-0.57	14			
736	-0.74	182	737	1	82	738	-0.57	14	739	-0.74	182	740	1	83			
741	-0.7	2	742	-0.39	38	743	-0.33	208	744	1	83	745	0.01	1			
746	-0.72	2	747	-0.32	5	748	1	83	749	-0.76	2	750	-0.44	188			
751	-0.02	231	752	1	84	753	-0.61	25	754	-0.48	58	755	-0.01	219			
756	1	84	757	-1.66	39	758	0.61	197	759	1	84	760	-0.43	5			
761	-0.6	197	762	-0.01	219	763	1	85	764	-1.03	25	765	-0.09	38			
766	-0.83	39	767	0.43	197	768	-0.48	219	769	0.13	230	770	1	85			
771	-0.92	25	772	0.47	197	773	0.13	225	774	-0.72	84	775	0.04	230			
776	-0.01	231	777	1	85	778	-3.01	25	779	-0.56	188	780	0.08	190			
781	2.11	197	782	0.21	230	783	1	88	784	-1.15	223	785	1	88			
786	-0.01	46	787	-1.25	229	788	1	87	789	-0.1	14	790	-0.01	29			
791	-0.08	41	792	-1.48	87	793	-0.04	74	794	-0.02	231	795	1	87			
796	-0.1	3	797	-0.03	4	798	-0.01	29	799	-0.01	30	800	-1.32	57			
801	-0.01	231	802	1	88	803	-0.19	9	804	-0.25	18	805	-0.54	73			
806	-0.08	231	807	1	68	808	-0.19	9	809	-0.25	18	810	-0.54	73			
811	-0.05	231	812	1	88	813	-0.22	9	814	-0.07	243	815	-0.67	73			
816	-0.04	231	817	1	89	818	-0.73	9	819	-0.1	18	820	-0.23	58			
821	-0.05	231	822	1	143	823	-0.87	9	824	-0.04	62	825	-0.23	73			
826	-0.21	134	827	1	144	828	-0.79	9	829	-0.26	73	830	1	90			
831	-0.67	17	832	-0.56	34	833	-0.05	61	834	-0.24	219	835	-0.02	231			
836	1	90	837	-0.74	17	838	-0.56	34	839	-0.05	35	840	-0.25	219			
841	1	145	842	-0.76	17	843	-0.39	34	844	-0.04	61	845	-0.2	219			
846	-0.03	231	847	1	91	848	-0.23	43	849	-0.48	56	850	-0.28	231			
851	1	146	852	-0.33	43	853	-0.7	56	854	-0.01	231	855	1	92			
856	-0.95	23	857	-0.09	231	858	1	147	859	-0.95	23	860	-0.09	231			
861	1	148	862	-0.02	171	863	-0.65	10	864	-0.82	45	865	-0.01	87			

A: número de registro,  
 B: coeficiente de balance de masa  
 C: código correspondiente a cada químico (ID)

APÉNDICE D.

Continuación.

A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
866	1	149	866	-0.25	43	868	-0.1	48	869	-0.9	68	870	-1.02	231		
871	1	149	872	-0.34	43	873	-0.83	66	874	-0.03	219	875	-0.04	74		
876	-0.01	231	877		1	878	-0.96	3	879	-0.33	217	880		1		
881	-0.64	36	882	-0.01	244	883	-0.31	62	884	-0.08	231	885		1		
886	-0.18	36	887	-0.01	197	888	-0.9	62	889	-0.06	231	890		1		
891	-1	62	892		1	893	-1	62	894		1	895	-0.02	245		
896	-0.5	174	897	-0.57	177	898	-0.09	219	899		1	900	-0.01	245		
901	-0.1	238	902	-1.01	50	903	-0.01	219	904		1	905	-0.28	19		
906	-0.56	32	907	0.18	57	908	-0.37	231	909		1	910	-0.44	19		
911	-0.89	32	912	0.29	57	913		1	100	914	-0.91	17	915	-0.02	246	
916	-0.16	197	917	-0.01	203	918	-0.42	67	919	-0.54	219	920	-0.02	231		
921		1	100	922	-0.91	17	923	-0.03	197	924	-0.01	203	925	-0.44	67	
926	-0.39	219	927	-0.02	231	928		1	100	929	-0.91	17	930	-0.02	246	
931	-0.18	197	932	-0.01	203	933	-0.42	67	934	-0.54	219	935	-0.02	231		
936		1	152	937	-0.82	17	938	-0.02	246	939	-0.17	197	940	-0.01	203	
941	-0.4	87	942	-0.51	219	943	-0.11	231	944		1	101	945	-0.78	72	
946	-0.23	221	947		1	153	948	-0.21	44	949	-0.23	210	950	-0.65	72	
951		1	154	952	-0.03	44	953	-0.98	72	954		1	102	955	-0.27	186
956	-0.75	41	957	-0.01	210	958	-0.02	219	959		1	141	960	-0.02	171	
961	-0.06	71	962	-0.98	72	963	-0.01	74	964	-0.02	231	965		1		
966	-0.01	247	967	-1.02	38	968	-0.05	241	969		1	103	970	-0.02	247	
971	-1.02	38	972	-0.03	238	973		1	103	974	-1.02	38	975		1	
976	-1.04	38	977		1	103	978	-1.02	38	979	-0.03	238	980	-0.02	70	
981		1	103	982	-1.02	38	983	-0.04	238	984	-0.02	70	985		1	
986	-1.03	38	987	-0.01	231	988		1	104	989	-1.03	38	990	-0.01	231	
991	-1.03	38	992	-0.01	174	993	-1.03	38	994		1	105	995	-1	32	
996	-0.36	40	997	0.34	57	998		1	105	999	-0.36	40	1000	-0.86	78	
1001		1	106	1002	-0.03	246	1003	-0.01	197	1004	-0.04	54	1005	-1.04	70	
1006	-0.01	219	1007	-0.01	231	1008		1	106	1009	-0.03	29	1010	-1.02	70	
1011		1	106	1012	-0.02	246	1013	-0.02	57	1014	-1.12	70	1015	-0.01	219	
1016	-0.01	231	1017		1	106	1018	-1.12	70	1019		1	108	1020	-0.02	246
1021	-1.08	70	1022		1	107	1023	-1.02	73	1024		1	108	1025	-0.05	131
1026	-0.98	73	1027	-0.03	231	1028		1	108	1029	-0.05	131	1030	-0.97	73	
1031	-0.04	231	1032		1	109	1033	-0.07	241	1034	-0.05	107	1035	-0.93	70	
1036	-0.02	231	1037		1	110	1038	-0.1	248	1039	-0.75	154	1040	-0.33	81	
1041		1	111	1042	-0.15	248	1043	-0.32	101	1044	-0.12	153	1045	-0.53	89	
1046	-0.02	231	1047		1	112	1048	-0.03	57	1049	-1.02	83	1050	-0.01	231	
1051		1	112	1052	-0.02	1	1053	-0.01	197	1054	-1.02	83	1055	-0.02	231	
1056		1	113	1057	-1.02	83	1058	-0.12	231	1059		1	114	1060	-0.15	38
1061	-0.05	115	1062	-0.87	83	1063	-0.01	231	1064		1	115	1065	1.31	2	
1066	-0.07	189	1067	-0.01	67	1068	-0.06	219	1069	-0.07	74	1070	-1.98	83		
1071	-0.01	231	1072		1	116	1073	-0.41	22	1074	-0.05	189	1075	-0.13	57	
1076	-0.1	219	1077	-0.12	74	1078	-1.4	83	1079		1	117	1080	-1.03	84	
1081		1	117	1082	-1.03	84	1083	-0.01	231	1084		1	118	1085	-1.03	84
1086	-0.03	231	1087		1	118	1088	-1.03	84	1089	-0.03	231	1090		1	
1091	-0.19	83	1092	-0.88	84	1093	-0.02	231	1094		1	120	1095	-0.26	9	
1096	-0.75	73	1097		1	120	1098	-0.26	9	1099	-0.01	253	1100	-0.01	219	
1101	-0.74	73	1102	-0.03	231	1103		1	120	1104	-0.26	9	1105	-0.01	253	
1106	-0.01	219	1107	-0.74	75	1108	-0.03	231	1109		1	120	1110	-0.26	9	
1111	-0.74	73	1112	-0.03	231	1113		1	121	1114	-0.16	55	1115	-0.25	68	
1116	-0.26	71	1117	-0.4	73	1118		1	121	1119	-0.16	55	1120	-0.25	68	
1121	-0.26	71	1122	-0.4	73	1123		1	121	1124	-0.03	40	1125	-0.16	55	
1126	-0.24	68	1127	-0.19	72	1128	-0.4	73	1129		1	121	1130	-0.3	40	
1131	-0.16	55	1132	-0.24	68	1133	-0.19	72	1134	-0.4	73	1135		1		
1136	-0.16	55	1137	-0.25	68	1138	-0.26	71	1139	-0.4	73	1140		1		

A: número de registro,  
 B: coeficiente de balance de masa  
 C: código correspondiente a cada químico (ID)

Continuación.

A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1141	-0.22	52	1142	-0.13	55	1143	-0.31	71	1144	-0.3	72	1145	-0.25	73
1146	-0.13	56	1147	-0.13	69	1148	-0.28	71	1149	-0.25	73	1150	-0.25	242
1151	1	122	1152	-0.47	43	1153	-0.01	219	1154	-0.57	55	1155	-0.46	231
1156	1	157	1157	-0.47	43	1158	-0.57	82	1159	-0.01	231	1160	1	123
1161	-0.17	84	1162	-0.93	95	1163	-0.01	231	1164	1	124	1165	-0.07	36
1166	-0.03	62	1167	-0.9	95	1168	-0.05	231	1169	1	125	1170	-0.9	9
1171	-0.9	62	1172	-0.04	231	1173	1	125	1174	-0.9	3	1175	-0.08	58
1176	-0.04	231	1177	1	125	1178	-0.9	9	1179	-0.07	58	1180	-0.71	231
1181	1	125	1182	-0.9	9	1183	-0.09	83	1184	-0.03	231	1185	1	142
1186	-0.68	9	1187	-0.3	84	1188	-0.02	231	1189	1	142	1190	-0.37	9
1191	-0.2	230	1192	-0.03	58	1193	-0.4	85	1194	1	142	1195	-0.77	9
1196	-0.2	83	1197	-0.03	231	1198	1	142	1199	-0.9	9	1200	-0.09	231
1201	-0.08	85	1202	-0.03	231	1203	1	126	1204	-1.01	50	1205	-0.03	53
1206	-0.04	202	1207	1	127	1208	-0.41	38	1209	-0.61	70	1210	-0.03	231
1211	1	158	1212	-0.44	38	1213	-0.01	239	1214	-0.52	70	1215	-0.01	219
1216	-0.11	231	1217	1	158	1218	-0.52	38	1219	-0.44	73	1220	-0.01	219
1221	-0.01	224	1222	-0.1	231	1223	1	128	1224	-0.8	18	1225	-1	25
1226	-0.74	219	1227	1	129	1228	-0.12	9	1229	-0.73	15	1230	-0.33	231
1231	1	130	1232	-0.24	9	1233	-0.56	18	1234	-0.11	231	1235	1	131
1236	-0.04	16	1237	-1.02	18	1238	-0.07	231	1239	1	131	1240	-1.02	18
1241	-0.03	238	1242	-0.02	231	1243	1	131	1244	-1.04	18	1245	-0.05	224
1246	-0.01	231	1247	1	131	1248	-1.03	18	1249	-0.02	224	1250	-0.04	231
1251	1	132	1252	-0.01	238	1253	-1.01	83	1254	-0.07	231	1255	1	132
1256	-0.01	252	1257	-1.01	53	1258	-0.06	231	1259	1	133	1260	-1.01	132
1261	-0.16	231	1262	1	134	1263	-0.73	18	1264	-0.2	218	1265	-0.22	73
1266	-0.02	74	1267	-0.11	231	1268	1	134	1269	-0.76	18	1270	-0.04	238
1271	-0.26	73	1272	-0.02	231	1273	1	135	1274	-0.56	18	1275	-0.46	73
1276	-0.08	231	1277	1	136	1278	-0.69	18	1279	-0.02	29	1280	-0.3	73
1281	-0.02	231	1282	1	137	1283	-0.25	19	1284	-0.6	32	1285	-0.38	254
1286	1	138	1287	-0.81	158	1288	-0.2	106	1289	-0.01	231	1290	1	139
1291	-0.41	10	1292	-0.71	19	1293	-0.33	89	1294	1	139	1295	-0.06	19
1296	-0.33	69	1297	-0.76	223	1298	1	20	1299	-1.03	22	1300	-0.03	46
1301	1	22	1302	-1	140	1303	-0.03	46	1304	1	42	1305	-1.23	22
1306	-0.03	46	1307	1	83	1308	-0.57	1	1309	0.7	2	1310	-1.32	3
1311	1	140	1312	-1.35	1	1313	1	8	1314	-0.92	9	1315	-1.5	74
1316	1	159	1317	-0.64	50	1318	-0.37	57	1319	1	160	1320	-0.38	40
1321	-0.9	78	1322	1	160	1323	-1.05	32	1324	-0.37	40	1325	0.3	57
1326	1	161	1327	-1.03	38	1328	-0.01	247	1329	1	70	1330	0.1	191
1331	-1.1	69	1332	1	128	1333	-1.06	27						

A: número de registro,  
 B: coeficiente de balance de masa  
 C: código correspondiente a cada químico (ID)

APÉNDICE E.

CÓDIGO (ID)	PRECIO (C/LB)	QUIMICO
1	31.50	ACETALDEHIDO
2	23.50	ACIDO ACETICO
3	41.00	ANHIDRIDO ACETICO
4	27.00	ACETONA
5	69.00	ACETILENO
6	40.00	ACROLEINA
7	58.00	ACRILAMIDA
8	46.00	ACIDO ACRILICO
9	43.00	ACRILONITRILLO
10	58.00	ACIDO ADIPICO
11	69.00	ADIFONITRILLO
12	80.00	ALCOHOL ALILICO
13	51.00	CLORURO DE ALILO
14	13.50	AMONIACO
15	42.00	ANILINA
16	19.80	BENCENO
17	58.00	BISFENOL-A
18	33.00	BUTADIENO
19	78.00	1,4-BUTANODIOL
20	33.00	N-BUTANOL
21	31.00	S-BUTANOL
22	25.00	N-BUTIRALDEHIDO
23	82.00	CAPROLACTAMA
24	3.20	MONOXIDO DE CARBONO
25	0.10	CLORO
26	35.00	CLOROBENCENO
27	40.00	CLOROPRENO
28	28.10	CUMENO
29	25.30	CICLOHEXANO
30	53.00	CICLOHEXANOL
31	54.00	CICLOHEXANONA
32	31.60	DIMETIL TEREFALATO
33	34.00	DINITROTOLUENO
34	55.00	EPICLOROHIDRINA
35	25.40	ETANOL
36	41.00	ETIL ACRILATO
37	22.50	ETILBENCENO
38	25.00	ETILENO
39	15.30	DICLOROETILENO
40	36.00	ETILENGLICOL
41	45.00	OXIDO DE ETILENO
42	32.00	2-ETILHEXANOL
43	9.00	FORMALDEHIDO
44	79.00	GLICERINA
45	89.00	HEXAMETILENDIAMINA
46	32.50	HIDROGENO
47	43.00	HIDROGENCIANIDA
48	43.00	PEROXIDO DE HIDROGENO
49	15.20	ISOBUTANO
50	32.00	ISOBUTILENO
51	32.00	ISOCTANOL
52	42.00	ACIDO ISOFTALICO
53	40.00	ISOPRENO
54	29.30	ISOPROPANOL
55	50.00	ANHIDRIDO MALEICO

ARCHIVO DEL PRECIO DE LOS QUÍMICOS.

Continuación.

CODIGO (11)	PRECIO (C/LB)	TERMINO
56	43.00	MELAMINA
57	48.00	METANOL
58	44.00	ACRILATO DE METILO
59	91.00	MDI
60	31.00	METIL ETIL CETONA
61	39.00	METIL ISOBUTIL CETONA
62	46.00	METACRILATO DE METILO
63	5.00	ACIDO NITRICO DILUIDO
64	12.00	ACIDO NITRICO
65	31.00	NITROBENCENO
66	38.00	FENOL
67	36.00	FOSGENO
68	30.00	ANHIDRIDO FTALICO
69	17.00	PROPILENO GRADO QUIMICO
70	21.00	PROPILENO GRADO POLIMERO
71	43.00	PROPILLEN GLICOL
72	35.00	OXICO DE PROPILENO
73	34.00	ESTIRENO
74	4.00	ACIDO SULFURICO
75	4.40	GAS DE SINTESIS 1:1
76	6.60	GAS DE SINTESIS 2:1
77	7.50	GAS DE SINTESIS 3:1
78	54.00	ACIDO TEREFALICO GR.FIBRA
79	35.00	ACIDO TEREFALICO CRUDO
80	55.00	TOLUENDIAMINA
81	93.00	TOLUENDISOCIANATO
82	19.00	UREA
83	34.50	ACETATO DE VINILO
84	21.50	CLORURO DE VINILO
85	35.00	CLOROVINILDENO
86	26.50	P-XILENO
88	107.00	ABS
90	100.00	RESINA EPOXY LIQUIDA
91	58.00	FORMALDEHIDO DE MELAMINA
92	134.00	RESINA DE NYLON 6 (CHIPS)
93	100.00	FENOL FORMALDEHIDO
97	32.50	POLIBUTANOS
100	166.00	POLICARBONATOS
103	48.50	POLIETILENO DE A.D.
104	34.00	POLIETILENO DE B.D.
105	90.00	POLIETILEN TEREFALATO
106	40.00	POLIPROPILENO
107	47.00	POLIESTIRENO GR.CRISTAL
108	48.00	POLIESTIRENO GR. IMPACTO
109	48.00	POLIESTIRENO EXPANDIBLE
110	76.00	POLIURETANO FLEXIBLE
111	76.00	POLIURETANO RIGIDO
115	105.00	ALCOHOL DE POLIVINILO
117	37.00	PVC
118	37.00	PVC LATEX
120	57.00	SAN
121	53.00	POLIESTER INS.
123	58.00	COPOLIMEROS DE CLORO VINILDENO
126	88.00	BUTYL ELASTICO(RUBBER)
127	77.00	ELASTOMEROS DE PROPILLEN ETILENO
128	81.00	NEOPRENO
129	106.00	ELASTICO DE NITRILLO

CODIGO (ID)	PRECIO (C/1B)	QUIMICO
132	57.00	LATEX ELASTICO DE NITRIL
133	53.90	POLIISOPRENO LATEX
171	91.10	CARBON ACTIVADO
172	4.50	SULFATO DE AMONIO
173	27.60	ACIDO BORICO
174	14.50	N-BUTANO
175	14.40	T-BUTANOL
177	12.00	BUTANOS
180	7.30	CLORURO DE CALCIO
181	1.60	OXIDO DE CALCIO
183	1.60	CARBON
184	5.50	COKE
185	37.00	DICLOROBENCENO
186	27.50	DIETILEN GLICOL
187	44.90	DIPROPILEN GLICOL
188	10.10	ETANO
189	42.00	ACETATO DE ETILO
190	18.00	CLORURO DE ETILO
191	16.80	COMBUSTIBLE GASEOSO
192	7.60	COMBUSTIBLE ACEITOSO A.S.
193	10.30	COMBUSTIBLE ACEITOSO B.S.
194	12.00	COMBUSTIBLE GASEOSO
195	18.20	HEPTANOS
197	23.30	CLORURO DE HIDROGENO
199	35.00	ISCBUTIRALDEHIDO
200	17.10	METANO
201	9.00	ACETATO DE METILO
202	19.80	CLORURO DE METILO
203	24.00	CLORURO DE METILENO
204	18.00	NAFTA
205	23.50	NAFTALENO
206	0.50	NITROGENO
207	3.00	OLEUM
208	3.10	OXIGENO
209	10.40	PENTANOS
210	3.20	ACIDO FOSFORICO
211	10.30	PROPANO
212	19.50	PROPILENO GRADO REFINERIA
213	22.50	DICLORO PROPILENO
214	22.70	GASOLINA DE PIROLISIS
215	0.50	BICARBONATO DE SODIO
216	8.40	BISULFITO DE SODIO
217	8.50	CARBONATO DE SODIO
218	4.60	CLORURO DE SODIO
219	13.30	HIDROXIDO DE SODIO
220	5.20	SULFATO DE SODIO
221	36.00	SORBITOL
222	5.40	SULFURO
223	95.90	TETRAHIDROFURANO
224	18.00	TOLUENO
225	31.20	TRICLOROETILENO
226	53.90	TRIETILEN GLICOL
227	36.00	M-XILENO
228	20.00	O-XILENO
229	18.00	XILENOS
232	29.00	ACIDO FORMICO

CONTINUA

233	10.50	ACIDO SUCCINICO
234	18.00	DICLOROPROPILENOS
235	110.00	CICLOHEXILAMINA
236	0.30	1,2-BUTANODIOL
237	30.00	2-METIL-1,3-PROPANODIOL
238	21.35	HEXANO
239	1.40	DIISOBUTIL CARBINOL
240	19.20	METILNAFTALENO
241	13.00	PENTANO
242	194.80	SEC-BUTIL ETHER
244	77.90	ACIDO METACRILICO
245	15.00	CLORURO DE ALUMINA
246	20.40	HEPTANO
247	37.20	1-BUTANO
248	60.40	FREON 11
249	78.30	ANHIDRIDO TETRABROMOFTALICO
250	90.80	ISOPROPILACRILAMIDA
251	113.50	BROMURO DE VINILO
252	13.60	ISOPENTANO
253	3.20	CLORURO DE HIDR. DIL.
254	4.00	GLICOL POLITETRAMETILEN ETHER

PROCESOS INCLUIDOS EN EL MODELO.

ACETALDEHIDO

- 1.-Acetaldehido via oxidacion de etileno (una etapa de oxidacion)
- 2.-Acetaldehido via oxidación de etileno (dos etapas de oxidación)
- 3.-Acetaldehido via oxidación de etanol

ÁCIDO ACÉTICO

- 1.- Ácido acético via carbonilación de metanol
- 2.- Ácido acético via oxidación aire de acetaldehido
- 3.- Ácido acético via oxidación con n-butano
- 4.- Ácido acético via oxidación de n-butileno

ANHÍDRIDO ACÉTICO

- 1.- Anhídrido acético via oxidación de acetaldehido
- 2.- Anhídrido acético via cetena y ácido acético

ACETONA

- 1.- Acetona via v.p. dehidrogenación de acetaldehido
- 2.- Acetona via oxidación de propileno

ACROLEÍNA

- 1.- Acroleína via oxidación de propileno

ACRILAMIDA

- 1.- Acrilamida via hidratación de acrilonitrilo (catalizador de lecho fijo)
- 2.- Acrilamida via hidratación de acrilonitrilo (catalizador suspendido)
- 3.- Acrilamida via proceso de ácido sulfúrico

ÁCIDO ACRÍLICO

- 1.- Ácido acrílico via oxidación de propileno
- 2.- Ácido acrílico via carbonilación de acetileno

ACRILONITRILLO

- 1.- Acrilonitrilo via amoxidación de propileno
- 2.- Acrilonitrilo via cianación/oxidación de etileno

ÁCIDO ADÍPICO

- 1.- Acido adipico a partir de ciclohexano
- 2.- Acido adipico a partir de ciclohexanol

ADIPONITRILLO

- 1.- Adiponitrilo via ácido adipico y amonia
- 2.- Adiponitrilo via hidromerización de acrilonitrilo

ALCOHOL ALÍLICO

- 1.- Alcohol alilico via isomerización de propileno
- 2.- Alcohol alilico via acroleína y alcohol n-butilo

Continuación:

**ALÍLICO CLORADO**

- 1.- Alílico clorado vía cloración de propileno

**AMONIACO**

- 1.- Amoniaco a partir de gas natural
- 2.- Amoniaco a partir de nafta

**ANILINA**

- 1.- Anilina vía mononitrobenceno
- 2.- Anilina vía amonolisis de ciclohexanol
- 3.- Anilina vía fenol y amoniaco

**BENCENO**

- 1.- Benceno vía hidrodealquilación de tolueno
- 2.- Benceno vía desproporciónación de tolueno

**BISFENOL-A**

- 1.- Bisfenol-a vía fenol y acetona

**BUTADIENO**

- 1.- Butadieno vía deshidrogenación de n-butilenos
- 2.- Butadieno a partir de n-butilenos (deshidrogenación oxidativa)
- 3.- Butadieno vía deshidrogenación de n-butano

**1,4-BUTANODIOL**

- 1.- 1,4-Butanodiol vía acetaldehído y formaldehído
- 2.- 1,4-Butanodiol a partir de butadieno
- 3.- 1,4-Butanodiol a partir de propileno
- 4.- 1,4-Butanodiol vía óxido de propileno

**n-BUTANOL**

- 1.- n-Butanol vía propileno (oxo convencional)
- 2.- n-Butanol vía propileno (catálisis co-fosfina)
- 3.- n-Butanol vía propileno (catálisis rodium)
- 4.- n-Butanol vía hidrogenación de n-butiraldehído

**s-BUTANOL**

- 1.- s-Butanol vía sulfonación de n-butileno

**BUTIRALDEHIDO**

- 1.- Butiraldehído vía oxonación de propileno
- 2.- Butiraldehído vía hidrogenación de crotonaldehído

Continuación:

CAPROLACTAMA

- 1.- Caprolactama vía ácido hexahidrobenzoico
- 2.- Caprolactama vía proceso de reducción de ácido nítrico
- 3.- Caprolactama vía proceso fenol
- 4.- Caprolactama a partir de ciclohexano
- 5.- Caprolactama vía ciclohexanona y hidroxilamina

MONOXIDO DE CARBONO

- 1.- Monóxido de carbono a partir de gas natural
- 2.- Monóxido de carbono a partir de nafta

CLORO

- 1.- Cloro a partir de cloruro de sodio (electrólisis)

CLOROBENCENO

- 1.- Clorobenceno vía cloración de benceno
- 2.- Clorobenceno vía dimerización de acetaldehído

CROTONALDEHIDO

- 1.- Crotonaldehído vía dimerización de acetaldehído

CUMENO

- 1.- Cumeno a partir de benceno y propileno

CICLOHEXANO

- 1.- Ciclohexano vía hidrogenación de benceno

CICLOHEXANOL

- 1.- Ciclohexanol vía oxidación de ciclohexano
- 2.- Ciclohexanol a partir de ciclohexano (proceso ácido bórico)
- 3.- Ciclohexanol vía oxidación de ciclohexano

CICLOHEXANONA

- 1.- Ciclohexanona vía deshidrogenación de ciclohexanol
- 2.- Ciclohexanona vía ciclohexano

DIMETIL TEREFALATO

- 1.- Dimetil tereftalato a partir de p-xileno
- 2.- Dimetil tereftalato vía TPA

DINITROTOLUENO

- 1.- Dinitrotolueno vía nitración de tolueno

EPICLOROHIDRINA

- 1.- Epiclorohidrina vía cloruro alílico

Continuación:

ETANOL

- 1.- Etanol via hidratación de etileno

ACRILATO DE ETILO

- 1.- Acrilato de etilo via ácido acrílico
- 2.- Acrilato de etilo via acrilonitrilo
- 3.- Acrilato de etilo via acetileno

ETILBENCENO

- 1.- Etilbenceno via alquilación de benceno

ETILENO

- 1.- Etileno via cracking etano-propano (50:50)
- 2.- Etileno via cracking gas oil (severidad alta)
- 3.- Etileno via cracking nafta (alta severidad)
- 4.- Etileno via pirólisis de etano
- 5.- Etileno via pirólisis de propano
- 6.- Etileno via cracking nafta (baja severidad)
- 7.- Etileno via cracking gas oil (baja severidad)
- 8.- Etileno via cracking gas oil (media severidad)
- 9.- Etileno via hidrogenación de acetileno
- 10.- Etileno via deshidrogenación de etanol

DICLORO ETILENO

- 1.- Dicloro etileno via cloración de etileno
- 2.- Dicloro etileno via etileno (oxi-cloración)

ETILEN GLICOL

- 1.- Etilen glicol via oxido de etileno
- 2.- Etilen glicol via oxidación de etileno

OXIDO DE ETILENO

- 1.- Oxido de etileno via oxidación de etileno (aire)
- 2.- Oxido de etileno via oxidación de etileno (oxígeno)
- 3.- Oxido de etileno via clorohidratación de etileno

2-ETILHEXANOL

- 1.- 2-Etilhexanol via proceso oxo
- 2.- 2-Etilhexanol via dimerización de n-butiraldehído

FORMALDEHÍDO

- 1.- Formaldehído via oxidación de metanol

Continuación:

GLICERINA

- 1.- Glicerina a partir de cloruro de alilo
- 2.- Glicerina vía epiclorohidrina
- 3.- Glicerina vía alcohol alílico y peróxido de hidrogeno

HEXAMETILENDIAMINA

- 1.- Hexametilendiamina vía acrilonitrilo
- 2.- Hexametilendiamina vía ácido adípico
- 3.- Hexametilendiamina vía butadieno

HIDROGENO

- 1.- Hidrógeno a partir de metano
- 2.- Hidrógeno a partir de naphta
- 3.- Hidrógeno vía oxidación parcial de naphta

CIANURO DE HIDROGENO

- 1.- Cianuro de hidrogeno vía amoxidación de metano

PERÓXIDO DE HIDROGENO

- 1.- Peróxido de hidrogeno vía proceso antraquinona
- 2.- Peróxido de hidrogeno a partir de isopropanol

ISOBUTANO

- 1.- Isobutano vía isomerización de n-butano

ISOBUTILENO

- 1.- Isobutileno a partir de craqueo de butanos

ISO-OCTANOL

- 1.- Iso-octanol vía heptenos (una etapa de oxidación)
- 2.- Iso-octanol vía heptenos (dos etapas de oxidación)

ÁCIDO ISOFTÁLICO

- 1.- Acido isoftálico a partir de m-xileno

ISOPRENO

- 1.- Isopreno vía dimerización de propileno
- 2.- Isopreno vía formaldehido e isobutileno
- 3.- Isopreno a partir de fracciones de C5

ISOPROPANOL

- 1.- Isopropanol vía hidratación de propileno
- 2.- Isopropanol vía propileno (intercambio catiónico)

*Continuación:*

**ANHÍDRIDO MALEÍCO**

- 1.- Anhídrido maleico vía oxidación de benceno
- 2.- Anhídrido maleico vía oxidación de n-butano

**MELAMINA**

- 1.- Melamina vía proceso BASF
- 2.- Melamina vía proceso CHEMIE LINZ
- 3.- Melamina vía proceso NISSAN
- 4.- Melamina vía proceso STAMICARBON

**METANOL**

- 1.- Metanol a partir de metano
- 2.- Metanol vía monóxido de carbono (presión alta)
- 3.- Metanol vía monóxido de carbono (presión baja)

**ACRILATO DE METILO**

- 1.- Acrilato de metilo vía esterificación de ácido acrílico

**METILEN DIFENIL DIISOCIANATO**

- 1.- Metilen difenil diisocianato vía anilina y fosgeno

**METIL ÉTIL CETONA**

- 1.- Metil étil cetona vía s-butanol
- 2.- Metil étil cetona a partir de n-butilenos

**METIL ISOBUTIL CETONA**

- 1.- Metil isobutil cetona vía acetona

**METIL METACRILATO**

- 1.- Metil metacrilato vía cianohidrina de acetona
- 2.- Metil metacrilato a partir de isobutileno

**ÁCIDO NÍTRICO**

- 1.- Ácido nítrico (95%) vía amoníaco
- 2.- Ácido nítrico (68%) vía amoníaco

**NITROBENCENO**

- 1.- Nitrobenceno vía nitración de benceno

**FENOL**

- 1.- Fenol vía oxidación de cumeno con aire
- 2.- Fenol vía deshidrocloración de clorobenceno
- 3.- Fenol vía hidrólisis alcalina de clorobenceno
- 4.- Fenol vía sulfonación de benceno

Continuación:

FOSGENO

- 1.- Fosgeno vía monóxido de carbono y cloro

ANHÍDRIDO FTÁLICO

- 1.- Anhídrido ftálico a partir de o-xileno
- 2.- Anhídrido ftálico a partir de naftaleno

PROPILENO

- 1.- Propileno, grado químico a partir de propileno, refinería
- 2.- Propileno, grado polímero a partir de propileno, refinería
- 3.- Propileno, grado polímero a partir de propileno, grado químico

PROPILEN GLICOL

- 1.- Propilen glicol vía hidratación de óxido de propileno

OXIDO DE PROPILENO

- 1.- Óxido de propileno vía clorohidratación de propileno
- 2.- Óxido de propileno vía oxidación de propileno

ESTIRENO

- 1.- Estireno vía etilbenceno (deshidrogenación)
- 2.- Estireno vía etilbenceno (proceso hidroperóxido)

ÁCIDO SULFÚRICO

- 1.- Ácido sulfúrico vía proceso doble absorción

GAS DE SÍNTESIS

- 1.- Gas de síntesis ( $H_2:CO = 1:1$ ) vía reformación de metano
- 2.- Gas de síntesis ( $H_2:CO = 1:1$ ) a partir de aceite residual
- 3.- Gas de síntesis ( $H_2:CO = 2:1$ ) vía gasificación de (coal)

GAS DE SÍNTESIS

- 4.- Gas de síntesis ( $H_2:CO = 2:1$ ) a partir de nafta
- 5.- Gas de síntesis ( $H_2:CO = 2:1$ ) a partir de aceite residual
- 6.- Gas de síntesis ( $H_2:CO = 3:1$ ) vía gasificación de (coal)
- 7.- Gas de síntesis ( $H_2:CO = 3:1$ ) a partir de aceite residual
- 8.- Gas de síntesis ( $H_2:CO = 3:1$ ) vía repormacion de metano

ACIDO TEREFTALICO

- 1.- Ácido tereftálico, grado (figer) vía p-xileno
- 2.- Ácido tereftálico, grado (figer) vía crudo TPA
- 3.- Ácido tereftálico, grado crudo vía p-xileno
- 4.- Ácido tereftálico, grado crudo vía acetaldehido

*Continuación:*

**TOLUEN DIAMINA**

- 1.- Toluen diamina via dinitrotolueno

**TOLUEN DIISOCIANATO**

- 1.- Toluen diisocianato via toluen diamina

**UREA**

- 1.- Urea via amonio y dióxido de carbono
- 2.- Urea via proceso de reciclado total

**ACETATO DE VINILO**

- 1.- Acetato de vinilo via etileno y ácido acético
- 2.- Acetato de vinilo via acetileno y ácido acético
- 3.- Acetato de vinilo via etano y ácido acético
- 4.- Acetato de vinilo via acetaldehído y anhídrido acético

**CLORURO DE VINILO**

- 1.- Cloruro de vinilo a partir de etileno
- 2.- Cloruro de vinilo via dicloro etileno
- 3.- Cloruro de vinilo via acetileno

**CLORURO DE VINILDIEÑO**

- 1.- Cloruro de vinildieno via deshidroclorinación de 1,1,2-tricloroetano
- 2.- Cloruro de vinildieno via cloruro de vinilo
- 3.- Cloruro de vinildieno via cloración de etano

**P-XILENO**

- 1.- P-xileno via isomerización de m-xileno (aromex-isoleno)
- 2.- P-xileno via isomerización de m-xileno (parex-isomar)

**ABS**

- 1.- ABS graft resina por polimerización emulsión/emulsión
- 2.- ABS graft resina por polimerización suspensión/emulsión
- 3.- ABS graft resina por polimerización bulk/suspensión

**RESINA BARRIER**

- 1.- Resina barrier (PET) via ácido tereftálico (proc. continuo)
- 2.- Resina barrier (PET) via dimetil tereftalato (proc. continuo)

**RESINA EPOXY**

- 1.- Resina epoxy (líquida) a p. de bisfenol-A y epíclorohidrina (proceso batch)
- 2.- Resina epoxy (líquida) a p. de bisfenol-A y epíclorohidrina (proceso)
- 3.- Resina epoxy (sólida) a p. de bisfenol-A y epíclorohidrina (proceso batch)

*Continuación:*

**MELAMINA-FORMALDEHIDA**

- 1.- Melamina-formaldehida a p. de melamina y formaldehido
- 2.- Melamina-formaldehida (syrup) a p. de melamina y formaldehido

**NYLON**

- 1.- Nylon 6 (chips) a partir de caprolactama
- 2.- Nylon 6 (melt) a partir de caprolactama
- 3.- Nylon 66 (chips) a p. de acido adipico y hexametildiamina

**FENOL-FORMALDEHIDO**

- 1.- Fenol-formaldehido (proc. Novoloc melding)
- 2.- Fenol-formaldehido resol syrup (proceso batch)

**POLIBUTANOS**

- 1.- Polibutanos a partir de una mezcla de butanos

**POLIOLES POLIESTER**

- 1.- Polioles poliester (sorbitol-base hexol) a p. de oxido de propileno y
- 2.- Polioles poliester (conteniendo fosforo) a p. de oxido de propileno y acido
- 3.- Polioles poliester (glicerina-base triol) a p. de oxido de propileno y

**POLIETILENO**

- 1.- Polietileno (alta densidad) via tecnologia Phillips
- 2.- Polietileno (alta densidad) via tecnologia Solvay
- 3.- Polietileno (alta densidad) via tecnologia Union Carbide (proceso en fase
- 4.- Polietileno (alta densidad) via tecnologia Hoechst
- 5.- Polietileno (alta densidad) via tecnologia Montedison
- 6.- Polietileno (alta densidad) via tecnologia Stamicarbon

**POLIETILENO (BAJA DENSIDAD)**

- 1.- Polietileno (baja densidad) a partir de un reactor autoclave
- 2.- Polietileno (baja densidad) a partir de un reactor autoclave (backmixed)
- 3.- Polietileno (baja densidad) a partir de un reactor tubular

**POLIETILEN GLICOL**

- 1.- Polietilen glicol a partir de oxido de etileno

**POLIETILEN TEREFTALATO**

- 1.- Polietilen tereftalato (PET) a partir de DMT y etilen glicol
- 2.- Polietilen tereftalato (PET) a partir de TPA y etilen glicol

**POLIMETIL METACRILATO**

- 1.- Polimetil metacrilato (pellets) por polimerizacion continua
- 2.- Polimetil metacrilato (pellets) por polimerizacion batch

Continuación:

**POLIPROPILENO**

- 1.- Polipropileno por proceso en fase líquida (tecnología DART)
- 2.- Polipropileno por proceso en fase vapor (tecnología BASF)
- 3.- Polipropileno por proceso slurry
- 4.- Polipropileno por proceso solución
- 5.- Polipropileno por proceso nuevo slurry

**POLIPROPILEN GLICOL**

- 1.- Polipropilén glicol a partir de óxido de propileno

**POLIESTIRENO**

- 1.- Poliestireno (grado crítico) por polimerización
- 2.- Poliestireno (grado impacto) por polimerización en suspensión
- 3.- Poliestireno (grado impacto) por polimerización en suspensión
- 4.- Poliestireno (expandible) por polimerización en suspensión

**POLIURETANO**

- 1.- Poliuretano flexible a p. de poliéter poliol y diisocianato de tolueno
- 2.- Poliuretano rígido a p. de poliéter poliol y MDI

**ACETATO DE POLIVINILO**

- 1.- Acetato de polivinilo por polimerización en solución
- 2.- Acetato de polivinilo por polimerización en suspensión
- 3.- Acetato de polivinilo (62% sólido-latex) por polimerización en emulsión

**ALCOHOL POLIVINILO**

- 1.- Alcohol polivinilo a partir de acetato de vinilo

**POLIVINIL BUTIRAL**

- 1.- Polivinil butiral por condensación de alcohol polivinílico con butiraldehído

**CLORURO DE POLIVINILO**

- 1.- Cloruro de polivinilo por proceso en fase líquida
- 2.- Cloruro de polivinilo por proceso en suspensión
- 3.- Cloruro de polivinilo (latex) por proceso en emulsión (polimerización)
- 4.- Cloruro de polivinilo (latex) por proceso en emulsión (polimerización batch)

**SAN**

- 1.- SAN por polimerización
- 2.- SAN por polimerización de emulsión continua

**SAN**

- 3.- SAN por polimerización de emulsión batch
- 4.- SAN por polimerización en suspensión

Continuación:

**POLIESTER INSATURADO**

- 1.- Poliester insaturado a p. de propilen glicol y anhídridos (proc.fusion batch)
- 2.- Poliester insaturado a p.de propilen glicol y anhídridos (proc.solv. batch)
- 3.- Poliester insat. a p.de óxido de propileno y anhídridos (proceso batch)
- 4.- Poliester insat. por un proceso continuo del glicol
- 5.- Poliester insat. (resist. a la corrosión) via reac. isoftálica
- 6.- Poliester insat. (resist.al fuego) por un proceso de fusión

**UREA-FORMALDEHIDO**

- 1.- Urea-formaldehido (compuesto moldeado)
- 2.- Urea-formaldehido (syrup)

**ACETATO DE VINILO/CLORURO DE VINILO**

- 1.- Acetato de vinilo/cloruro de vinilo copolimero por polimerización en

**FIBRAS ACRILICAS**

- 1.- Fibras acrílicas a p. de acrilonitrilo y metil metacrilato (pol. sol. cont.)
- 2.- Fibras acrílicas a p. de acrilonitrilo y metil acrilato (pol.sol.continua)
- 3.- Fibras acrílicas a p. de acrilonitrilo y metil metacrilato (pol.susp. cont.)
- 4.- Fibras acrílicas a p. de acrilonitrilo y acrilato de vinilo (pol.susp.batch)

**FIBRAS DE BUTILO**

- 1.- Fibras de butilo a partir de isobutileno

**FIBRAS EP**

- 1.- Fibras EP a partir de etileno y propileno

**FIBRAS DE NITRILLO**

- 1.- Fibras de Nitrilo por polimerización en emulsión

**POLIBUTADIENO**

- 1.- Polibutadieno por polimerización con catalizador de cobalto
- 2.- Polibutadieno por polimerización con catalizador de litio
- 3.- Polibutadieno por catalisis con un iodine-ziegler
- 4.- Polibutadieno por una catalisis con níquel

**POLICLOROPRENO**

- 1.- Policloropreno (neopreno) via butadieno
- 2.- Policloropreno (neopreno) via cloropreno

**POLIISOPRENO**

- 1.- Poliisopreno por catalisis Ziegler
- 2.- Poliisopreno por catalisis con litio

**SBR**

- 1.- SBR por polimerización en emulsión fría
- 2.- SBR por polimerización en solución

**SBR (LATEX)**

- 1.- SBR (latex) por polimerización en emulsión caliente

APENDICE G.

Proceso	Producción (KT)	Capacidad Instalada (KT)
1	279.00	294.00
4	200.42	200.00
9	81.99	85.00
10	54.82	94.00
24	158.49	124.00
33	119.50	158.00
34	208.72	309.00
41	15.33	55.00
48	16.60	41.00
53	75.40	75.00
62	382.56	447.11
67	582.60	40.00
68	89.64	100.00
83	1197.69	1391.21
95	333.43	361.00
97	317.10	328.00
102	115.85	195.00
123	187.50	15.00
125	5.84	7.00
131	223.28	171.50
134	30.90	30.00
142	387.95	349.00
144	33.71	41.50
149	68.70	113.50
151	368.44	387.20
156	158.79	180.00
158	4899.68	5268.00
169	299.80	405.00
173	710.50	759.10
175	58.20	125.00
179	230.38	270.00
185	229.87	280.00
197	3.50	14.00
208	16.80	15.00
218	28.50	35.00
223	227.64	200.00
229	389.40	309.00
234	37.00	100.00
240	139.75	213.70
242	7.70	16.90
243	48.80	66.50
268	83.40	123.00
286	103.60	113.00
303	18.65	24.50

ARCHIVO PRODUCCIÓN Y CAPACIDAD INSTALADA DE  
LOS QUÍMICOS EN SU PROCESO PRINCIPAL.

CODIGO	PROD. (KT)	IMPORT. (KT)	EXPORT. (KT)	CONS.APA. (KT)	QUÍMICO
1	275.70	0.19	3.46	275.42	ACETALDEHIDO
2	293.41	4.14	45.86	158.76	ACIDO ACETICO
3	84.50	0.00	20.18	64.63	ANHIDRIDO ACETICO
4	54.82	3.05	3.75	54.03	ACETONA
7	159.43	0.62	0.00	159.51	ACRILONITRILLO
14	118.49	5.94	5.05	119.37	AMONIACO
16	386.78	0.00	0.00	386.78	BENCENO
19	15.32	90.30	0.00	105.62	BUTADIENO
20	16.60	3.32	1.46	18.46	N-BUTANOL
23	75.43	0.74	0.00	76.15	CAPROLACTAMA
25	382.56	25.44	0.69	407.32	CLORO
26	58.26	0.08	0.00	58.34	CUMENO
29	89.64	0.02	0.00	89.65	CICLOHEXANO
38	1197.68	0.46	171.80	102.64	ETILENO
40	333.42	10.10	251.33	92.20	ETILENGLICOL
41	317.07	0.05	0.00	317.12	OXIDO DE ETILENO
43	115.84	0.32	0.13	116.03	FORMALDEHIDO
54	18.75	38.95	0.00	57.50	ISOPROPANOL
55	5.84	2.71	0.24	8.32	ANHIDRIDO MALEICO
57	223.28	32.56	0.00	255.84	METANOL
58	30.89	2.81	11.71	22.00	ACRILATO DE METILO
64	387.95	7.58	0.15	395.38	ACIDO NITRICO
66	33.71	0.24	15.99	17.96	FENOL
68	68.70	0.07	21.76	47.00	ANHIDRIDO FTALICO
69	368.44	29.34	3.14	391.64	PROPILENO G. Q.
72	0.00	41.06	0.00	44.06	OXIDO DE PROPILENO
73	158.78	32.78	0.00	191.56	ESTIRENO
74	4899.68	135.00	120.00	4914.68	ACIDO SULFURICO
79	299.80	3.94	139.62	164.12	ACIDO TEREFALICO
82	710.42	0.12	220.74	489.81	UREA
83	58.20	1.27	23.49	35.98	ACETATO DE VINILO
84	230.37	88.28	0.00	318.66	CLORURO DE VINILO
86	229.87	133.25	4.50	358.62	P-XILENO
96	16.80	2.59	7.23	12.16	POLIMETIL METACRILATO
101	28.25	0.60	3.00	258.85	POLIETER POLIOL HEXOL
103	227.64	113.42	7.59	333.48	POLIETILENO DE A.D.
104	389.40	33.64	19.94	403.10	POLIETILENO DE B.D.
106	37.00	147.52	4.01	180.52	POLIPROPILENO
108	139.75	22.00	31.03	130.72	POLIESTIRENO GR. IMP.
109	7.62	0.76	1.50	6.88	POLIESTIRENO EXP.
113	48.78	1.32	0.14	49.97	POLIURETANO FLEXIBLE

ARCHIVO DE PRODUCCIÓN, IMPORTACIÓN, EXPORTACIÓN Y  
CONSUMO APARENTE DE LOS QUÍMICOS EN MÉXICO

APENDICE H.

Continuación:

CODIGO	PROD. (KT)	IMPORT. (KT)	EXPORT. (KT)	CONS. APA. (KT)	QUÍMICO
141	127.52	1.12	47.57	80.47	POLIETADIENO ELAST.
145	1.34	3.43	1.24	10.36	RESINA EPÓXICA SOLIDA
157	87.37	0.08	0.22	87.26	UREA-FORMALDEHIDO
160	13.45	1.20	6.04	12.91	POLIETILEN TEREFTALATO
172	343.13	0.03	0.00	343.96	SULFATO DE AMONIO
210	876.04	31.03	3.00	906.00	ACIDO FOSFORICO
215	41.28	3.06	11.91	37.52	BICARBONATO DE SODIO
217	145.00	150.50	0.00	715.50	CARBONATO DE SODIO
219	376.84	25.44	4.93	420.29	HIPOCLORITO DE SODIO
220	568.04	4.25	99.00	47.34	SULFATO DE SODIO
224	410.37	13.82	0.00	424.78	TOLUENO
228	75.50	17.95	0.00	93.46	O-XILENO
229	410.02	5.36	0.00	415.30	MILENO
253	169.94	4.43	5.91	164.47	CLORURO DE HIDR. DEL.

---

**BIBLIOGRAFÍA.**

---

**TESIS:**

- 1) Chávez, Octavio Emilio  
"Structural Simulation in the Analysis of the Chemical Industry". Ph. D., University of Wisconsin (1965).

**ARTÍCULOS:**

- 1) Sophos, A.E. Rotstein and G. Stephanopoulos  
"Multiobjective Analysis in Modeling the Petrochemical Industry", Chemical Engineering Science, 35,12(1980).
- 2) Fathi-Afshar, S. and J. Yang,  
"Designing the Optimal Structure of the Petrochemical Industry for Minimum Cost and Least gross Toxicity of the Chemical Production", Chemical Engineering Science, 40, 5(1985).
- 3) Sokic, M. and D. Stevancevic  
"The optimal Structure of the system of the Petrochemical Industry", Chemical Engineering Science, 38, 2(1983).
- 4) Fathi-Afshar, S. and D. F. Rudd  
"The Economic Impact of the New Chemical Technology", Chemical Engineering Science, 36, 8(1981).

5) Rudd, D. F.

"Modeling the Development of the Intermediate Chemicals Industry", The Chemical Engineering Journal, 9, 1(1975).

6) Stadtherr, M. A. and D. F. Rudd

"Resource Use by the Petrochemical Industry", Chemical Engineering Science, 33, 7(1978).

7) Fathi-Afshar, S., D. S. Maisel, D. F. Rudd, A. A. Treviño and W. W. Yuan

"Advance in Petrochemical Technology Assessment", Chemical Engineering Science, 36, 9(1981).

8) Palsson, B. O., S. Fathi-Afshar, D. F. Rudd and E. M. Lightfoot

"Biomass as a Source of Chemical Feedstocks: An Economic Evaluation", Science 213(1981).

9) Treviño, A. A. and D. F. Rudd

"On Planning an Integrated Mexican Petrochemical Industry", Engineering Cost and Production Economics, 5(1980).

- 10) Mikkelsen, J. Kr. and D. F. Rudd  
"Development of a norwegian Petrochemical Industry",  
Engineering Cost and Production Economics, 5(1981).
- 11) Takama, Norihiro and T. Umeda  
"Multi-Level, Multi-Objective Optimization in process  
Engineering" Chemical Engineering Science, 36(1980).
- 12) Shimiza, Y. and Takamatsu T.  
"Application of Mixed-Integer Linear Programming in  
Multiterm Expansi3n Planning under Multiobjectives",  
Computers & Chemical Engineering, 9, 4(1985).
- 13) Takama, N., T. Kuriyama, K. Niida, A. Kinashida, K.  
Shiroko and T. Umeda  
"Optimal Desing of a Processing System: Multi-  
Objective desing optimization of the total system  
should be carried out by property coordinating the  
goal-seeking activities of its conflicting  
subsystems", CEP, September(1982).
- 14) Symposium Series  
C<sub>4</sub> Hydrocarbon Production and Distribution, Chemical  
Engineering Progress, 103, 66(1970).

15) PEMEX

"Statistical Yearbook", 1991.

16) SEMIP (Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal), Comisión Nacional de Petróleo, Gas y Petroquímica, "Petroquímica", 1991, 1993.

**LIBROS:**

1) Finger, S., Ellen Finger

" Programación en Pascal, con Aplicaciones en Ciencias e Ingeniería", Ediciones ANAYA Multimedia (1989).

2) Edgar, T. F., and D. M. Himmelblau

"Optimization of Chemical Process", McGraw-Hill, Inc. (1988).

3) Nell Dale & Susan C. Lilly

"Pascal y estructura de datos", McGraw-Hill, Inc. (1986).

4) Scott D. Palmer

"Introducción a Turbo Pascal para Windows", Ed. Limusa, S.A. de C.V., (1994).