

21
rej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ZARAGOZA"

**DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO PARA
LA INTEGRACION DE ENERGIA DE LA PLANTA
DE DODECILBENCENO (AU, PEMEX)**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N :

JOSE BENJAMIN RANGEL GRANADOS

EDUARDO REYES DIAZ

DIRECTOR DE TESIS:

ING. QUIM. EDUARDO VAZQUEZ ZAMORA

1992



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 está 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.

CONTENIDO

	Página
CAPITULO No. 1.	1
Introducción.. . . .	1
CAPITULO No. 2	4
Planta de Dodecibenceno.. . . .	4
Descripción del flujo:(proceso).	8
CAPITULO No. 3.	14
Estado actual de operación de la Planta de Dodecibenceno.	14
CAPITULO No. 4.	35
Integración de energía.	35
Problemas de la síntesis de procesos.. . . .	36
técnicas para resolver los problemas de síntesis de procesos.	40
Estrategias de búsqueda aplicadas a subproblemas de síntesis.	44
Logros obtenidos en la resolución de subproblemas de síntesis.	47
El método de diseño para redes de intercambio de calor.	53
El Límite (PINCH).	55
Método de diseño Límite.	64
Resumen del método de diseño.	75

CAPITULO No. 5.	82
Sistemas Expertos.	82
Construcción de un Sistema Experto.	87
Base del conocimiento.	90
Estructura del conocimiento y razonamiento en Sistemas Expertos.	91
Representación de estrategias en el conocimiento.	94
Estrategias de control.	96
Aplicación de los Sistemas Expertos.	98
Formalización del Conocimiento Experto.	100
Integración a diversas fuentes del conocimiento.	101
El proceso de construcción del Sistema Experto.	102
Etapas de construcción de un Sistema Experto.	102
CAPITULO No. 6.	104
Lenguaje Prolog.	104
Desarrollo del sistema para la planta AU PEMEX.	106
Resultados.	112
CAPITULO No. 7.	116
Conclusiones.	116
ANEXO	119
BIBLIOGRAFIA.	144

GRAFICOS

	página
Gráfica No.1.	20
Gráfica No.2.	21
Gráfica No.3.	22
Gráfica No.4.	23
Gráfica No.5.	24
Gráfica No.6.	25
Gráfica No.7.	26
Gráfica No.8.	27
Gráfica No.9.	28
Gráfica No.10.	29
Gráfica No.11.	30
Gráfica No.12.	31
Gráfica No.13.	32
Gráfica No.14.	33
Gráfica No.15.	34
Gráfica No.16.	114
Gráfica No.17.	115
Esquema (I-A).	93

FIGURAS

	Página
Figura No. 1.	59
Figura No. 2.	60
Figura No. 3.	63
Figura No. 4.	68
Figura No. 5.	71
Figura No. 6.	72
Figura No. 7.	73
Figura No. 8.	78
Figura No. 9.	78
Figura No. 10.	81

CAPITULO No. 1

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Actualmente el Ingeniero Químico cuenta con la ayuda de las computadoras, las cuales son usadas en diversas áreas de esta profesión (como la supervisión de procesos químicos).

Asimismo, se encuentran en estudio avanzados sistemas de desarrollo computacional para los más altos niveles de control, tales como: planeación, esquematización, análisis de procesos, diagnóstico u optimización operacional de plantas.

Las computadoras, han ayudado a perfeccionar la calidad de los procesos y proporcionar una mejor información a los supervisores de la planta. Sin embargo, la filosofía básica de control de procesos no a tenido cambios; incluso la distribución del control digital, donde pequeñas computadoras interactúan directamente con el equipo y apoyan al sistema central de la planta, no presentan cambios en el funcionamiento de las plantas.

En el área de desarrollo y diseño de procesos químicos, las computadoras se usan para:

- * Simulación de procesos y análisis.
- * Tamaño y costos de equipo.
- * Arreglo de redes de tuberías.
- * Manejo de sistemas de integración de energía.
- * Planeación de proyectos.
- * Monitoreo y dirección.

Además, científicos e ingenieros, están involucrados en el diseño de nuevos productos (materiales, solventes, especialidades químicas) o evaluación comercial de alternativas esquemáticas de producción química o bioquímica

en donde no pueden usarse computadoras en sus tareas creativas, excepto para recuperar información de la base de datos o incluir la salida de cálculos triviales. Por consiguiente la experiencia acumulada, muchas veces vitalmente crítica para una corporación, es muy difícil de organizarse, sistematizarse, preservar y compartir con otros.

Esta situación es el principio de cambios más comunes con la llegada de sistemas más poderosos de cómputo, y con una nueva generación de Software basado en el lenguaje de programación "LISP y PROLOG" y en las técnicas de "Inteligencia Artificial" (Artificial Intelligence AI). Ahora los ingenieros químicos pueden comenzar a considerar la ayuda de un auxiliar de computadora "inteligente" para el desarrollo y diseño de procesos, análisis y diagnóstico de operaciones de procesos, así como una planeación y esquematización de operación de grandes complejos.

Las mejores compañías en procesos químicos han establecido grupos de exploración y explotación de la tecnología de sistemas expertos, a saber: Dupont, Exxon, Shell, Chevron, Amoco, Sun Oil, Air Products, Dow, Proctor and Gamble, Union Carbide, General Electric, Mobil, 3M, ICI, BASF, Bayer, y Rhone Poulenc.

Una de las áreas más fructíferas para las nuevas técnicas de automatización es el desarrollo de programas que puedan ayudar a los humanos a mejorar sus trabajos día a día. Estos sistemas engloban el conocimiento usado en actividades repetitivas que son bastante simples. Estas actividades incluyen: procedimientos de mantenimiento, arreglo de planta, diseño mecánico de operaciones unitarias, especificación de la colocación del equipo, instrumentación y sistemas de control, también como la preparación de especificaciones para licitaciones.

Estos sistemas son significativos en términos de sus reembolsos, ya que la mayor parte de ellos son aplicaciones de sofisticadas técnicas de software desarrollado para problemas que no pueden ser manejados por un lenguaje fortran. Se puede también de forma análoga desarrollar ideas más sofisticadas que permitan ayudar a los ingenieros a aplicar los conocimientos existentes a nuevos problemas, así como la forma para desarrollar nuevos conocimientos en con el propósito de realizar tareas similares. Estas ideas pueden ser:

- * Auxiliares en el desarrollo de procesos.
- * Sistemas de consulta para el diseño preliminar de procesos.
- * Asesores para el diseño de sistemas de control.
- * Sistemas de consulta para las secuencias de separación.
- * Sistemas de consulta para el diseño de procedimientos de operación en las áreas que incluyen: arranque, optimización de proceso, seguridad y emergencia.
- * Monitores de línea para mantener a los operadores de planta enterados del estado general de un proceso, fallas potenciales, y recomendaciones de acciones inmediatas.

Estas clases de sistemas representan una aplicación potencial de las computadoras auxiliares en procesos de ingeniería.

Con base en lo anteriormente descrito, el presente trabajo tiene como finalidad el desarrollo de un sistema experto que sirva como nueva herramienta para el ingeniero químico dentro de la técnica conocida como integración de energía para la planta de dodecibenceno de petróleos mexicanos (de la cual se cuenta con información real de operación), con objeto de minimizar el consumo actual de energía, y a su vez familiarizarse con el uso de esta nueva tecnología.

CAPITULO No. 2

ASPECTOS GENERALES

PLANTA DE DODECILBENCENO

Los detergentes son uno de los productos de mayor demanda del ser humano. De estos productos, el de más importancia por su aplicación en las necesidades domésticas e industriales, es el Sulfonato Sódico de Dodecil-Benceno (DBSS).

Estos productos se introdujeron al mercado de los E.E.U.U., en el año de 1947 y casi simultáneamente se elaboraron en México, por importantes industrias jaboneras como la "Colgate Palmolive", "La Procter & Gamble", etc..

Como la demanda de estos productos crecía en forma considerable, hubo la necesidad de que en lugar de importar el producto terminado (dodecilbenceno), se importará la materia petroquímica básica. Fue entonces cuando se instalaron importantes plantas de sulfonación de alquil-arilo ó alcano, nombres con que comúnmente se denomina al dodecilbenceno (DDB).

La industria que nos ocupa, se incremento de forma definitiva, cuando en el año de 1959 "Petroleos Mexicanos, PEMEX" en su refinería "18 de Marzo", concluye dos importantes plantas: polimerización catalítica de propileno y la de alquilación catalítica de dodecilbenceno. Con estas plantas quedo integrada la industria de detergentes en México, así fue como se evitó la fuga de divisas por la importación del alcano.

La planta de dodecilbenceno de la mencionada refinería, es conocida como planta "AU", y emplea el proceso Perco Phillips petroleum company, de alquilación con ácido fluorhídrico como catalizador.

En la planta "AU", se prepara el dodecilbenceno por medio de una reacción catalítica del tipo Friedel Crafts combinando tetrámero (TTM) y benceno (ϕ) en presencia de ácido fluorhídrico (HF) que actúa como catalizador. Además del dodecilbenceno (DDB) se obtienen como subproductos el alquilarilo ligero (AAL), el alquilarilo pesado (AAP), así como aceites solubles en ácido (ASA):



Al efectuarse la reacción anterior se desprende una cierta cantidad de calor, por ser exotérmica, por lo que se utiliza un sistema de enfriamiento con agua en el reactor para mantener su temperatura en un valor óptimo.

El uso de los diversos productos y subproductos del proceso es el siguiente:

* El DDB se utiliza como base para la fabricación de detergentes de alta calidad.

* El AAL en su mayor parte se utiliza en la planta como sello líquido para proteger los empaques de las bombas que manejan HF ó HC mezclados. El exceso producido puede mezclarse con la gasolina de alto octano.

* El AAP puede mezclarse con el gasóleo o bien aprovecharse para elaborar detergentes de baja calidad, su producción es muy reducida.

* Los ASA se eliminan incinerándolos en un quemador exclusivo para ello.

El TTM se obtiene en la planta de polimerización (AD) localizada en el área sur de la misma refinería, a partir del propano-propileno producido en la planta catalítica.

El benceno se recibe de la refinería de Minatitlán, Veracruz, por medio de auto-tanques y carros-tanques de ferrocarril. Se obtiene en la planta de aromáticos a partir de la gasolina reformada.

El HF se compra a una compañía de capital privado localizada en San Luis Potosí y Monterrey, éste se obtiene a partir del mineral "Espato-Fluor" de un 97% de pureza y ácido sulfúrico (H_2SO_4).



La razón de utilizar HF en el proceso de obtención de DDB es la siguiente:

En las reacciones de alquilación sin catalizador, se hace necesario tener presiones muy altas que fluctúan entre 200 Kg/cm^2 a 550 Kg/cm^2 , ya que esto se favorece la reacción; además, debido a que la reacción es exotérmica se tendrían temperaturas también altas que oscilarían entre los 400°C y 525°C . Por lo que, para evitar estas condiciones tan altas, se recurre al uso del catalizador y así, en condiciones más razonables se favorece la reacción. Para este tipo de reacción se usan los siguientes catalizadores:

- * Fluoruro de Boro (BF_3).
- * Cloruro de Aluminio ($AlCl_3$).
- * Acido Sulfúrico (H_2SO_4).
- * Acido Fluorhídrico (HF), etc.

Así se podrán tener presiones menores de 70 Kg/cm^2 y temperaturas que oscilarían de 230°C . hasta -10°C .

En el caso particular que nos ocupa, se emplea HF como catalizador debido a las grandes ventajas que tiene sobre los demás, a saber:

* Su bajo punto de ebullición, es aprovechado industrialmente debido a la evaporación rápida del producto.

* Su bajo punto de congelación, da la seguridad de que aunque se empleen bajas temperaturas, éste no congela y activa la reacción eficientemente. Su baja viscosidad hace posible que las bombas y líneas (tubería) sean pequeñas.

* La propiedad más importante para ser utilizado, es su poder catalítico, debido a su extrema acidéz.

* Su poderosa acción deshidratante no tiene comparación con ningún otro compuesto, ya que no hay agente químico capaz de extraer agua de él; deshidrata al ácido sulfúrico y produce agua al reaccionar con pentóxido de fósforo.

El HF además de promover, acelera la reacción del TIM con el benceno para formar el DDB. Se considera que el HF interviene directamente en la reacción, pero al completarse ésta es liberado nuevamente pudiendo usarse en la operación continua.

Durante dicha operación, el HF se va impurificando con los ASA formados y con la humedad no eliminada en las cargas. Como el HF debe mantener una pureza mínima dentro de ciertos límites, dichas impurezas se eliminan por destilación simple en una torre regeneradora.

El HF es un gas licuado a presión, muy corrosivo, incoloro y fumante. A presión atmosférica y temperatura ambiente se presenta en estado gaseoso, el cual se vuelve blanquecino al entrar en contacto con la humedad ambiental, es muy seco y soluble en agua.

El alto costo del HF y el benceno representà una fracci3n considerable de los gastos de operaci3n de la planta, por lo que es importante mantener al m3nimo las p3rdidas de estos materiales y evitar su uso en forma inmoderada.

El HF se pierde en su mayor parte al efectuarse la regeneraci3n del mismo e irse con los ASA que por la caracteristica de sus macromoleculas encierran en su seno moleculas de aqu3l.

Otra parte de HF se pierde con los productos de la reacci3n en forma de fluoruros org3nicos. Adem3s, se pierde en fugas del mismo equipo que lo maneja, purgas, v3lvulas de relevo, etc..

DESCRIPCION DEL FLUJO DEL PROCESO

La planta de producci3n de dodecilibenceno llamada planta "AU" consta fundamentalmente de cinco secciones:

1).- Secci3n de secadores de carga y regeneraci3n de los mismos. La carga de TTM es suministrada por los tanques de almacenamiento localizados al poniente de la planta, el TTM es bombeado a 30°C a trav3s del circuito de control de flujo a uno de los tres secadores de carga.

El benceno de carga se suministra a los tanques de almacenamiento a 30°C, este es bombeado tambi3n a trav3s del circuito de control de flujo a otro de los secadores de carga mencionados.

Los secadores de carga son recipientes que contienen al3mina, tamiz molecular que tiene por objeto retener la humedad contenida en el TTM 3 benceno de carga que pueda afectar gravemente m3s adelante la operaci3n al impurificar el HF.

Dicho tamiz molecular es un Silico-Aluminato metálico hidratado y cuya estructura porosa y gran superficie de contacto permite por medio de la adsorción retener a una temperatura ambiente la humedad y a cierta temperatura la libera.

Químicamente se puede presentar dicho tamiz molecular por la siguiente fórmula:



De acuerdo con lo anterior los secadores conteniendo el absorbente de humedad deben regenerarse cuando menos cada 24 horas, aumentandose la frecuencia de acuerdo con los reportes de laboratorio del contenido de humedad. La corriente de TTM debe pasar siempre por el secador recién regenerado y la corriente de Benceno pasará por el secador que le circulaba el TTM de carga, estando de esta manera el TTM fuera del sistema de regeneración.

El sistema de regeneración consiste en una circulación a contracorriente de Benceno caliente a través del secador saturado de humedad, para lo cual se cuenta con un circuito cerrado de regeneración que funciona de la siguiente manera: El benceno de regeneración es bombeado a un tanque acumulador, a través de un calentador de horquilla, en donde es vaporizado por medio de aceite de calentamiento.

La temperatura de salida del benceno se controla por medio del sistema de control que regula el reflujo de aceite a la horquilla. Los vapores de benceno fluyen a través del secador de carga por regenerarse, vaporizando el agua de la cama de alúmina. El vapor de benceno saturado con agua fluye hacia el condensador de regeneración en donde es enfriado, condensado y regresado al acumulador. En éste se asienta el agua en el fondo donde se drena periódicamente a mano, debiendo

iniciarse siempre la regeneración de secadores de carga con benceno fresco y seco, eliminando diariamente el benceno usado.

2).- Sección de reacción con sistema de enfriamiento a base de agua. Generalmente antes de comenzar la reacción de benceno y TTM si no se dispone de AAL almacenado para sello, se debe usar benceno seco para proteger los empaques de las bombas de ácido recirculado, las bombas de circulación de benceno (que contiene HF), el sello mecánico del reactor y las bombas de ácido regenerado.

La carga de TTM proveniente del secador de carga se combina con la corriente de benceno recirculado proveniente del acumulador de la torre de benceno, a la entrada del reactor.

El HF es inyectado directamente al reactor en donde la mezcla total de hidrocarburos-ácido es mezclada por un agitador interno accionado por un motor eléctrico externo. Por el interior de los tubos circula agua de enfriamiento para mantener una temperatura de reacción entre 30°C y 36°C según la carga. La mezcla de productos resultantes más el HF y el benceno de recirculación pasan al asentador de ácido, en donde el volumen de HF circulante en exceso es separado por diferencia de gravedades, de la mezcla de hidrocarburos. Este ácido es conducido a un tanque de balance de donde es bombeado al reactor como una recirculación continua la cual forma parte del ácido inyectado al reactor.

3).- Sección de fraccionamiento de productos. La mezcla de hidrocarburos pasa por el tanque asentador y por diferencia de presiones al precalentador de carga de la Torre de benceno, el cual trabaja con vapor de 50lb/in² (tipo de horquillas), para después pasar a la torre de benceno.

Esta corriente de carga a la torre de benceno entra entre 90°C y 100°C ; dicha temperatura es controlada por el sistema de control el cual regula la salida de condensado.

El benceno y el poco de HF arrastrado son destilados, y condensados fluyendo hacia el acumulador de la propia torre. Este acumulador está provisto de una columna absorbidora de gases de venteo, empacada con anillos de carbón rashing, en la que cualquier venteo de gas será lavado con una pequeña cantidad de benceno de carga, antes de pasar al tanque trampa de desfogues.

Todo el destilado líquido se bombea y una parte de éste se combina con la carga de TTM a la entrada del reactor, y la otra parte se va como reflujo a la torre de benceno. La presión en el acumulador es controlada por su propio sistema de control, el cual actúa eliminando incondensables y fracciones ligeras que se forman durante la reacción enviándose hacia el tanque trampa de desfogues.

Los fondos de la torre de benceno son recirculados por medio del sistema de bombeo de la torre a través del recalentador de la torre, parcialmente vaporizados y regresados a la base de la torre; en dicho recalentador se usa gasóleo caliente del circuito de aceite de calentamiento, éste flujo de aceite es controlado por el sistema de control del equipo, y a su vez, controla la temperatura del fondo de la torre. El excedente de la corriente de fondos, que comprende el producto neto de fondos (menos el destilado) fluye como carga a la torre de AAL, este flujo es controlado por medio un controlador que actúa en cascada con el control de nivel del fondo de la torre de benceno. Previamente este flujo pasa a través de dos tratadores de Bauxita para absorber los fluoruros orgánicos formados.

En la torre de AAL, el producto destilado es condensado antes de pasar por el acumulador. Esta torre trabaja a 40mmHg de

vacio (presión absoluta), la cual se logra por medio de un sistema de eyectores de vapor. El destilado contenido en el tanque acumulador, parte se refluye al domo de la torre de AAL y parte se va como producto, al tanque de sello.

Los fondos de la torre de AAL, son bombeados recirculándose en el recalentador, en donde son parcialmente vaporizados y retornados al fondo de la torre. Se usa aceite de calentamiento del circuito general.

El producto de los fondos de la torre de AAL, pasan como carga a la torre de DDB, siendo controlado este flujo por el controlador en cascada con el control de nivel del fondo de la torre de AAL.

En la torre de DDB, el producto que destila y se condensa es el DDB que fluye hacia el acumulador de la torre. Se trabaja a una presión de 500mmHg de presión absoluta mediante otro sistema de eyectores de vapor de dos pasos y cuyo sistema de control permite la admisión de aire para disminuir el vacío excesivo en la succión del eyector del primer paso según sea necesario.

El producto de DDB es bombeado a tanques de almacenamiento. Los fondos de la torre de DDB se recirculan a través de su recalentador, en donde son parcialmente vaporizados y retornados al fondo de la torre. El producto de fondos ó sea el AAP es bombeado a tanques de almacenamiento, pasando por un enfriador.

4).- Sección de regeneración del HF. Parte del HF recirculado es regenerado en forma continua por destilación en la torre regeneradora de HF. Dicha corriente de HF por regenerar es tomada de la descarga de las bombas de HF recirculado. Y después de ser precalentado entra en la sección media de la base de la torre. El HF regenerado destila y se condensa en el enfriador de la misma torre pasando después al tanque

acumulador y regresando a la corriente de HF recirculado al reactor por medio de bombeo.

En el fondo de la torre quedan las impurezas consistentes en ASA y agua, las cuales bajan a través de la sección de agotamiento de la torre y son agotados por los vapores generados en el recalentador de fondos. El flujo de vapor hacia dicho recalentador se controla con el sistema de control propio de la torre. Los ASA son enviados por diferencia de presiones y a control de nivel del fondo, de la torre al tanque colector de ASA para después ser quemados.

5).- Sección de gasóleo de calentamiento. Una corriente de gasóleo caliente es recirculada por medio de bombeo a través del calentador a fuego directo y después hacia varios recalentadores y cambiadores de la planta. La temperatura de salida del gasóleo calentado es controlada por medio de reguladores de flujo de gas combustible a dicho calentador. El flujo de gasóleo a los diferentes cambiadores de la planta se controla por medio de controladores de flujo y temperatura de cada cambiador. El gasóleo caliente retorna a un tanque colector, de donde es succionado por las bombas.

Este circuito de gasóleo de calentamiento también proporciona calor al recalentador de fondos de la torre de AAL de la unidad de alquilación y a la horquilla de isobutano de arrastre de la torre regeneradora de la planta de alquilación.

Además, esta planta cuenta con las siguientes secciones auxiliares:

- a).- Almacenamiento de HF.
- b).- Vaporizador de propano.
- c).- Quemador de ASA.
- d).- Sistema de aire de seguridad.

CAPITULO No. 3

ESTADO ACTUAL DE OPERACION DE LA PLANTA

ESTADO ACTUAL DE OPERACION DE LA PLANTA DE DODECILBENCENO

Como es de su ponerse, la operación de una planta de alquilación con HF es delicada, sobre todo teniendo en cuenta que es un proceso muy distinto a los tradicionales de simple destilación más comunes en la refinación del petróleo.

El DDB se obtiene por la combinación del benceno y una olefina como el tetrápropileno comunmente llamado tetramero (T4M), en presencia de HF. El DDB es un producto con un rango de ebullición similar a la kerosina.

El HF actua como catalizador, para favorecer y a la vez acelerar la reacción, en la cual no se consume en forma apreciable; sin embargo, al arrastrar impurezas tales como agua y ASA, formados estos últimos como productos secundarios en la reacción, deben eliminarse en la torre de regeneración de HF como residuos.

Una de la variables más importantes en la reacción de alquilación, pero que usualmente no es considerado como variable de operación es el tipo de olefina usada. La olefina que se manda de carga a la unidad de DDB de la refinería "18 de Marzo" es el tetrápropileno o tetramero (T4M).

El T4M y el benceno se consumen durante la reacción para formar alquil-aril-ligero (AAL), dodecilbenceno (DDB), alquil-aril-pesado (AAP) y aceites solubles en ácido (ASA), que son polimeros de alto peso molecular que se producen en pequeña cantidad y que impurifican el HF.

Los factores más importantes que es necesario controlar durante la operación de la unidad son:

- * La cantidad y calidad de DDB producido por cada barril de TTM cargado.
- * El consumo de HF.
- * Las pérdidas de benceno en la unidad.
- * Las variables de operación que se considera que causan algún efecto sobre el consumo de ácido y de benceno así como la producción de ASA como producto secundario indeseable.
- * La operación de la torre regeneradora de ácido, así como la debida operación de las válvulas de relevo representan el mayor efecto en el consumo de HF y la eficiente operación de aquella como el estado de las segundas redundarán en un consumo mínimo del mismo.
- * El consumo de benceno debe ser constante y determinado por la cantidad de TTM de carga a la planta. Las pérdidas del mismo se pueden deber principalmente a deficiente operación de la torre de benceno, que puede provocar que se vaya una parte con el AAL a almacenaje.

Las variables de operación más importantes que afectan la reacción de alquilación con HF para obtener DDB son las siguientes:

1.- Relación de benceno circulado a TTM de carga. Se considera que ésta es la variable que más afecta la reacción y una de las más fáciles de controlar.

Consiste en la relación de moles de benceno a moles de TTM de carga al reactor. Por datos de diseño se recomienda mantener en el reactor una relación de 20 moles de benceno por cada mol de TTM, correspondiendo esto a una relación en volumen de

B.6 a 1.0. El objeto de mantener lo más alto posible esta relación es el de asegurar la reacción de todo el FIM de carga y a la vez evitar reacciones secundarias indeseables de coili-alquilación principalmente.

Un aumento en la relación de benceno circulado a FIM de carga produce los efectos siguientes:

a.- Aumenta la cantidad de DDB producido por unidad de peso de tetrámero de carga.

b.- Disminuye la producción de AAL y AAP.

c.- Disminuye la formación de ASA, lo que ayuda a que la torre regeneradora de Acido trabaje menos congestionada y a la vez que los ASA en su totalidad sean quemados en el incinerador de campo y no por exceso de éstos tengan que tirarse al piso, o bien, mandarlos por la línea de desechos alcalinos que pasa por la Planta de tratamiento de aguas.

2.- Temperatura de la reacción. La reacción de Alquilación con HF para producir DDB es exotérmica, es decir, hay un cierto desprendimiento de calor. Por lo anterior se hace necesario el uso de un sistema de enfriamiento en el lugar en donde se efectúa la reacción (reactor). Originalmente este disponía de un sistema de refrigeración por vaporización de propano líquido, pero en la actualidad sólo se circula agua de enfriamiento del circuito general por un haz de tubos que se localizan en el seno del reactor.

La reacción de alquilación se lleva a cabo en forma satisfactoria en un rango de temperatura de 4.4°C a 37.8°C . Un aumento de 5°C a 10°C disminuye la cantidad de DDB producido y aumenta la producción de AAL.

3.- Concentración del HF. Se considera como concentración a la acidez aparente o titulable del HF (el laboratorio analítico lo reporta como por ciento de HF):

a.- Aumentando la concentración de HF de 80% a 90% se favorece la reacción aumentando la cantidad producida de DDB. La producción máxima de DDB se obtiene cuando los análisis del ácido reporten un valor de 87% a 90%, considerando constantes las demás variables de operación.

b.- Un aumento en la concentración del HF recirculado disminuye el consumo del mismo en forma de fluoruros orgánicos combinados. La disminución de la pureza del HF se debe generalmente a la formación de ASA y a la absorción de humedad proveniente de las cargas. La pureza o concentración del HF recirculado se aumenta subiendo la carga a la torre regeneradora de HF.

4.- Tiempo de contacto. Se denomina tiempo de contacto a la cantidad en minutos que tarda en pasar el volumen de hidrocarburos por reactor.

Una variación de tiempo de contacto entre cinco y quince minutos no afecta en forma apreciable la cantidad y calidad del producto principal o sea DDB.

Es evidente que el tiempo de contacto aumentará al aumentar el volumen de la carga a la planta.

5.-Relación de HF a Hidrocarburos totales en el reactor. Se define esta relación como el cociente entre el volumen líquido total de HF alimentado al reactor y el total de hidrocarburos alimentados al mismo.

El volumen total de HF alimentado es la suma de HF recirculado y el HF regenerado. El volumen total de

hidrocarburos alimentados al reactor se refiere a la suma de ITM de carga y el benceno de circulación.

Los efectos aparentes de esta variable de operación no parecen ser determinantes ya que se han obtenido buenos resultados variando esta relación de 0.25 a 1.0 barril de HF por barril de hidrocarburos de carga al reactor.

6.- Tipo de olefina de carga. En términos generales puede decirse que el ITM o tetrápropileno debe ser en su estructura molecular lo más lineal posible puesto que sus isómeros con arborescencias son afectados durante el proceso de alquilación, dando lugar a un producto de mal olor y color, y aumentando además el contenido de materia no sulfonable, el cual debe ser lo más bajo posible de acuerdo con la especificación de DDB.

7.- Relación de volumen de HF al regenerador a volumen de DDB producido. Esta relación es importante puesto que limita la capacidad del proceso, ya que para un volumen de DDB producido es necesario regenerar una cantidad determinada de HF, para mantener siempre la pureza del mismo dentro de los límites adecuados.

Se ha establecido prácticamente el mantener una cantidad de HF recirculado entre un rango de 88% a 92%, para lo cual es necesario mantener una relación de 0.4 barriles de HF en regeneración por cada barril de DDB producido.

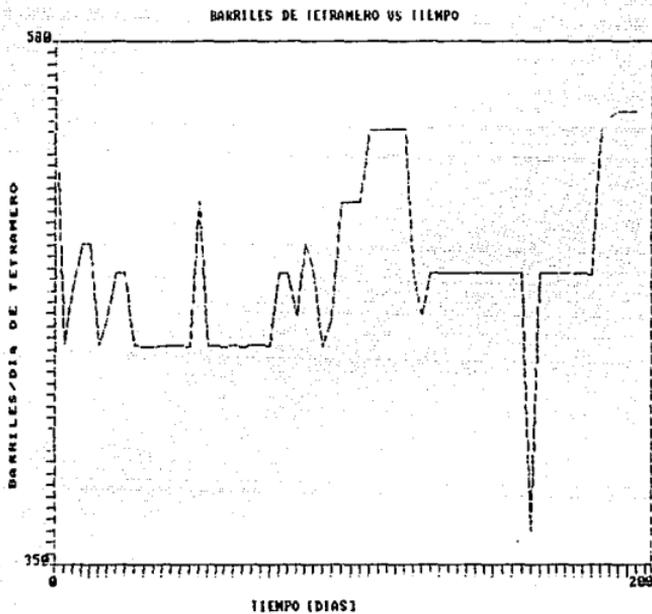
Lo anterior considerando que se utilizan cargas con un mínimo en contenido de humedad y azufre que afectan directamente la pureza del HF.

El contenido de humedad a la salida de los secadores no debe ser mayor de 200 p.p.m. y el contenido de azufre no debe ser mayor a 40 p.p.m. en ambas cargas.

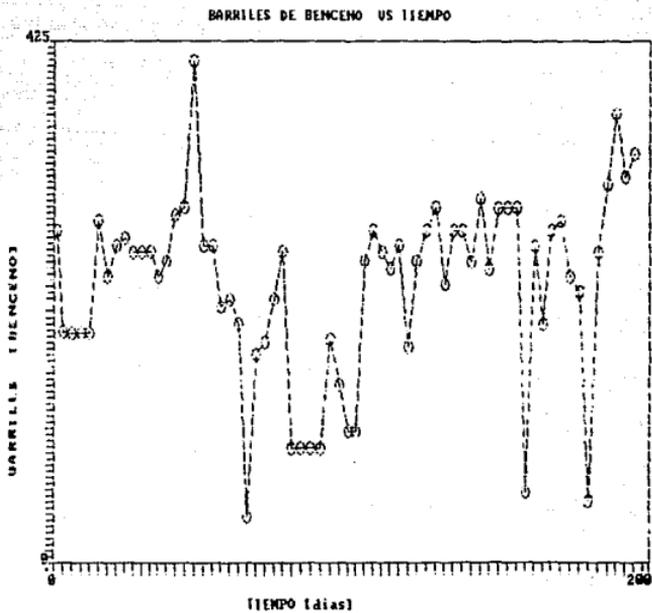
Como se podrá observar se han dado los por menores en cuanto al funcionamiento de la planta de nuestro interés. A continuación se presentan las condiciones de operación de ésta planta en forma de gráficas para poder apreciar de una mejor forma el comportamiento de la misma. Cabe señalar que estas gráficas son realizadas con los datos proporcionados por los instrumentos del cuarto de control central y controladores locales o de campo de la planta, así mismo, estos datos comprenden un periodo de seis meses de operación.

La gráfica No.1 de barriles de TTM vs tiempo y la gráfica No.2 de barriles de benceno se observá que la cantidad de TTM alimentado presenta intervalos más lineales o estables ya que éste se encuentra sujeto a la demanda del mercado de DDB. Más sin embargo, la gráfica No.2, muestra una mayor inestabilidad que es debida a fallas de aspecto técnico en el sistema de bombeo, a la escasez de HF para llevar a cabo la reacción y por la falta de benceno como materia prima.

GRAFICA No. 1

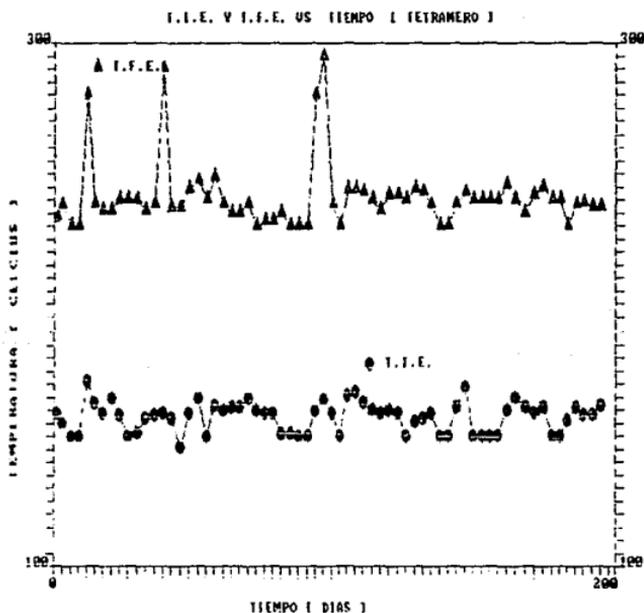


GRAFICA No. 2



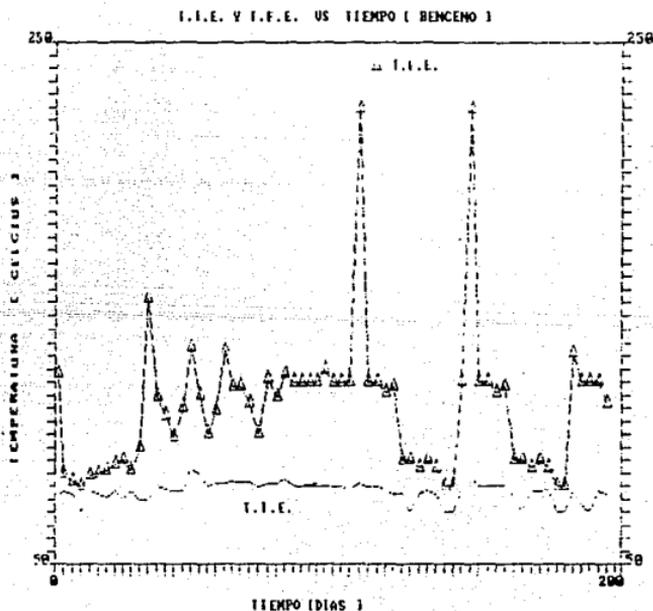
La grafica No.3 corresponde a la temperatura Inicial de Ebullición (T.I.E) y Temperatura Final de Ebullición (T.F.E.) del TTM. Se observa que éste tiene una mejor estabilidad en la T.I.E. no así en el caso de la T.F.E. donde se presentan picos debidos a fallas en el equipo de servicios auxiliares y sistema del enfriamiento (fallas de control).

GRAFICA No. 3



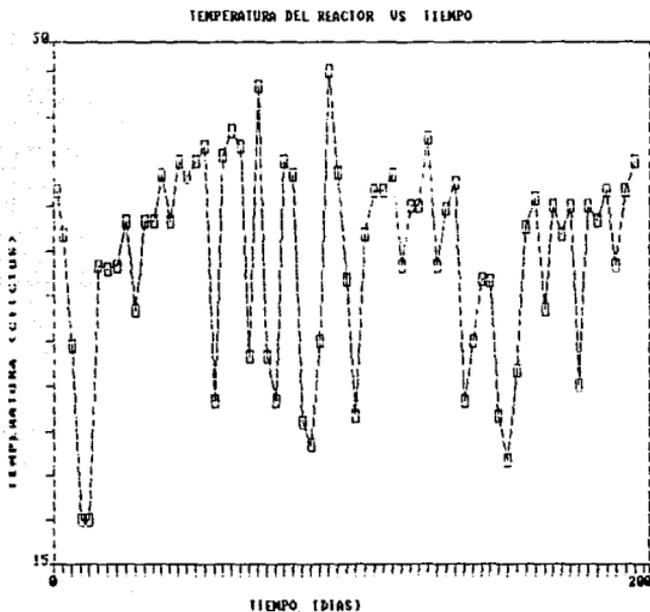
La gráfica No.4. presenta el comportamiento de las curvas de Temperatura Inicial de Ebullición (T.I.E.) y Temperatura Final de Ebullición (T.F.E.) del benceno con respecto al tiempo. En ésta se puede apreciar que la T.I.E. presenta poca variación durante el tiempo de operación (200 días). La T.F.E. se observan diversos puntos críticos provocados al igual que en la gráfica No.3 por fallas en el equipo de servicios auxiliares y en el sistema de enfriamiento.

GRAFICA No. 4



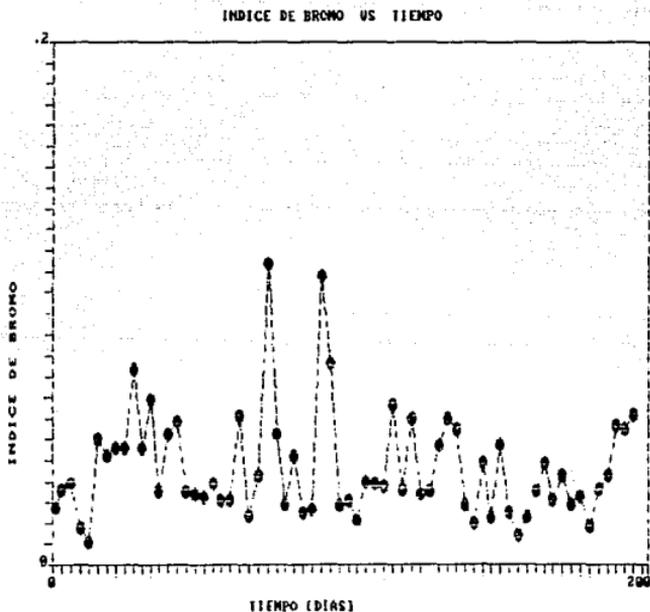
En la gráfica No.5 de Temperatura del Reactor se puede observar el alto grado de inestabilidad del que es considerado el equipo principal de la planta. Puesto que la temperatura óptima de operación de este equipo es de 35°C, teniendo como límite una temperatura de 37°C, el análisis de la ésta muestra que este equipo opera la mayor parte del tiempo fuera de estos límites, provocando con ello la formación de productos secundarios no deseables en el proceso como son: AAL, AAP y ASA.

GRAFICA No. 5



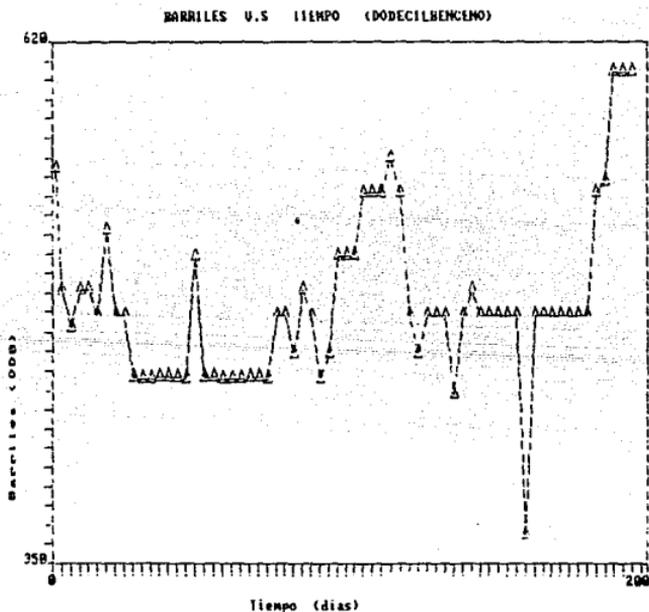
La gráfica No.6 corresponde al Índice de Bromo, que es otro indicador del estado de operación la planta. Si este índice sobrepasa el valor de 1.00 se tendrá una disminución del producto principal (DDB) y mayor formación de los productos secundarios. Si por el contrario los datos obtenidos son menores a 1.00 el producto principal será mayor y los productos secundarios disminuirán.

GRAFICA No. 6

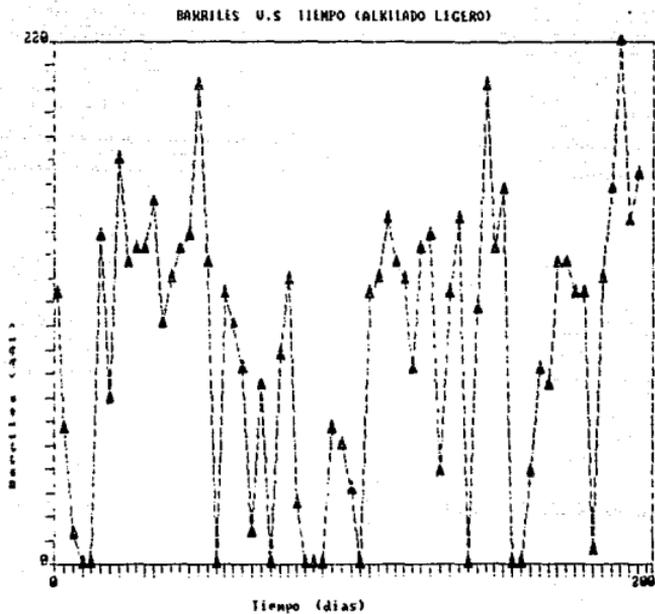


Las gráficas No.7, 8, y 9, referentes al producto real (DDB) y subproductos (AAL y AAP), se observan las variaciones que la producción sufre ocasionadas por: la oferta inadecuada de materias primas para generar estos productos; las fallas en equipos de bombeo de materias primas, así como la falta de control en los límites de temperatura de la reacción, provocando mayor cantidad de productos secundarios.

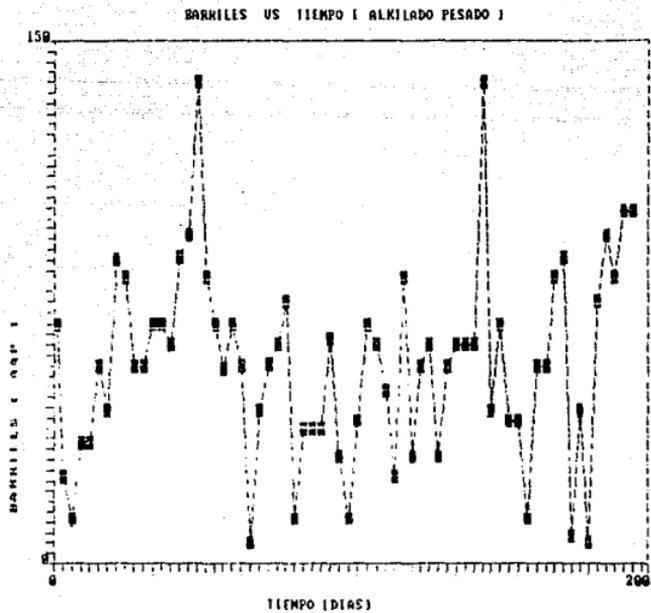
GRAFICA No. 7



GRAFICA No. 8

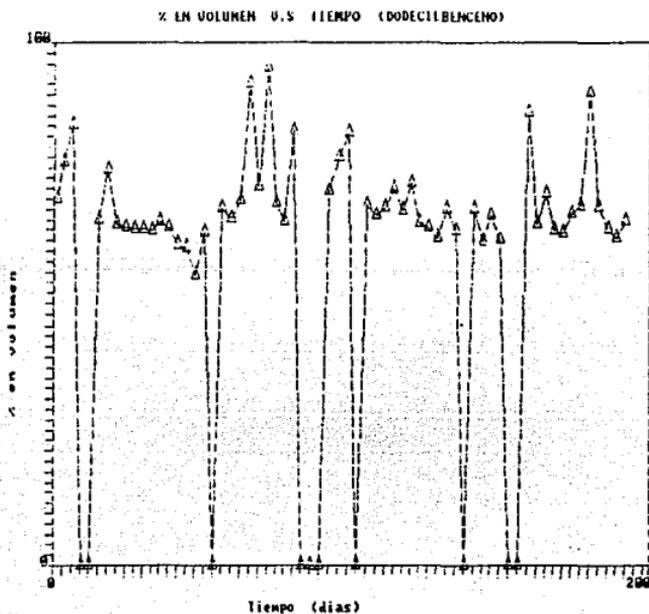


GRAFICA No. 9

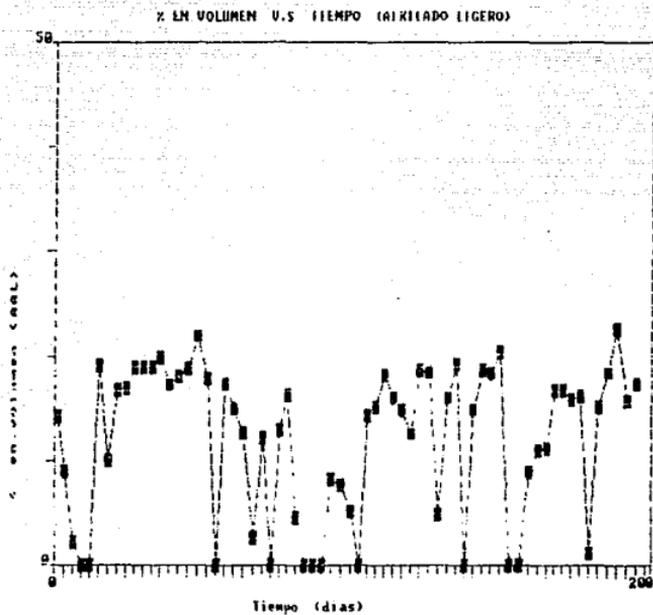


La gráfica No.10 representa el porcentaje en volumen producido durante el mismo periodo de tiempo, así como los puntos más altos en la producción de DDB como producto principal, y en contra parte la disminución de los subproductos como: AAL y AAP (gráficas No.11 y 12) indeseables en la reacción, puesto que un aumento de estos representa una disminución en la producción de DDB como producto principal. Los puntos que se observan como cero representan la falta de materias primas para alimentar el proceso por lo que el sistema en general entra en una etapa llamada de recirculación, con la finalidad de no parar la planta por falta de estas materias primas.

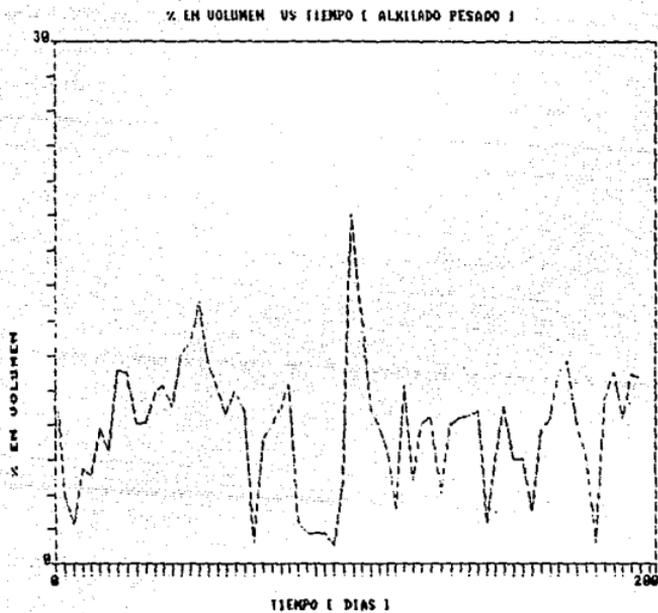
GRAFICA No. 10



GRAFICA No. 11

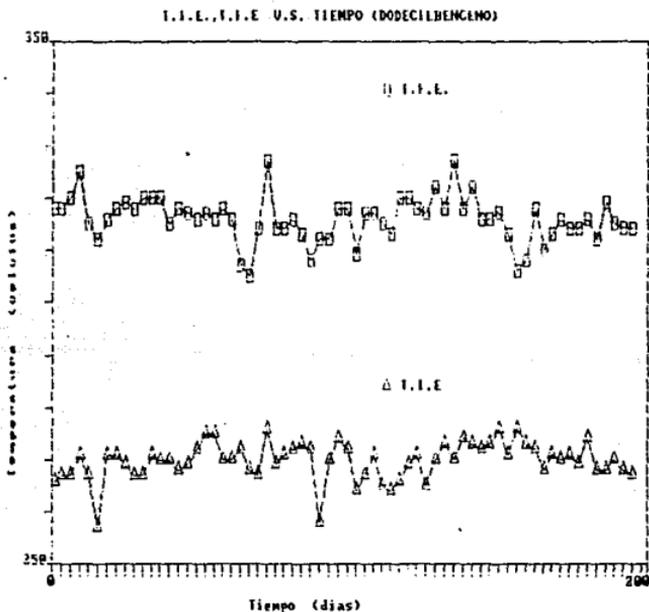


GRAFICA No. 12



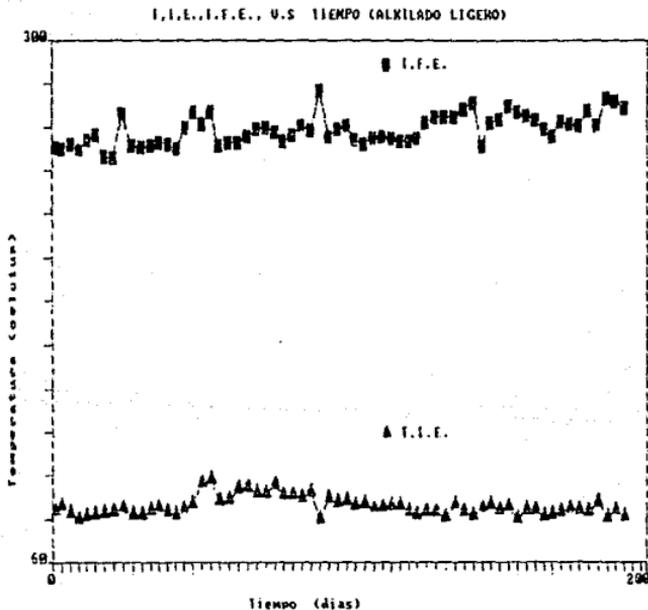
La gráfica No.13 referente a la Temperatura Inicial de Ebullición (T.I.E.) y Temperatura Final de Ebullición (T.F.E.) del DDB, en ella se muestra el comportamiento de este producto en sus dos temperaturas límites bajo las cuales es obtenido.

GRAFICA No. 13

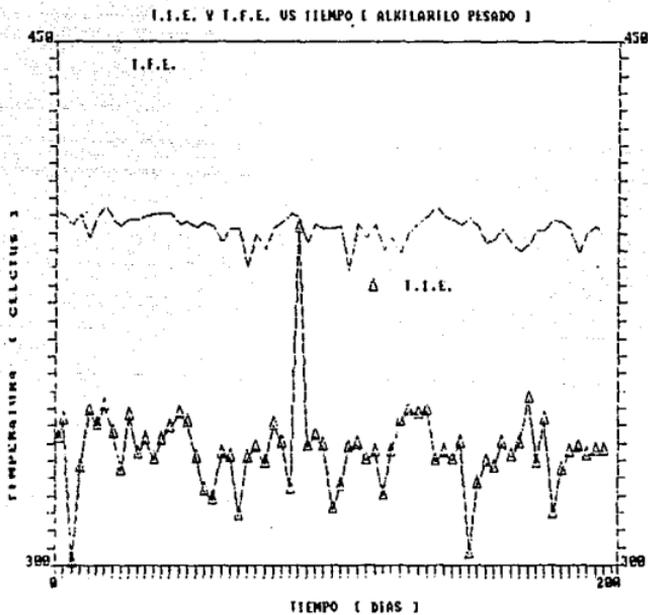


Las gráficas No.14 y 15 se refieren a las T.I.E's y I.F.E.'s de los subproductos que se obtienen del proceso (A.A.L. Y A.A.P.). Cuando el proceso opera en malas condiciones estos subproductos se producen en mayor cantidad y disminuyendo si el proceso opera en las condiciones normales de operación.

GRAFICA No. 14



GRAFICA NO. 15



CAPITULO No. 4

ASPECTOS DE LA DE LA INTEGRACION DE ENERGIA

INTEGRACION DE ENERGIA

La síntesis de sistemas de procesos es el acto sistemático de determinar la interconexión óptima de unidades de proceso, así como el diseño óptimo de sus unidades.

La síntesis de procesos como área de investigación tiene poco más de una década de existencia, su lento desarrollo se debe a varios factores tales como:

- * La práctica empírica de la síntesis de procesos realizada desde los comienzos del desarrollo industrial.
- * El ambiente de las crecientes economías después de la Segunda Guerra Mundial, donde la producción en masa era el principal objetivo.
- * La visión analítica de los procesos era muy pobre.

Es a fines de los 60's y principios de los 70's cuando la estructura de producción existente, encuentra sus primeras limitaciones en cuanto a la disponibilidad de materias primas y energía, creándose la necesidad de cambios estructurales para mayores mejoras, todo esto junto con el primer contacto a mediados de los 70's de estrategias de búsqueda con la ayuda de computadoras con lo que los problemas son atacados usando aproximaciones sistemáticas.

Durante su existencia, la síntesis de procesos a impuesto cambios estructurales, es el centro de atención como una de las primeras herramientas para mejorar la productividad y la economía de un proceso.

PROBLEMAS DE LA SINTESIS DE PROCESOS

La síntesis es un paso en el diseño de un proceso, generalmente las corrientes de salida de un sistema son específicas, mientras que las alimentaciones pueden ser especificadas exactamente o ser miembros del propio sistema (ambos casos son problemas de síntesis). Es claro que la síntesis de un sistema, involucra la toma de decisiones de dos formas:

- 1.- Alternativas estructurales, que son definidas por la topología y la naturaleza de las unidades interactivas.
- 2.- Alternativas de diseño para las unidades de operación que componen el sistema.

La optimización en la alternativa estructural conduce a un problema de programación entera y en la alternativa de diseño, produce un problema de programación continua no lineal, esto mezclado genera un problema de optimización de naturaleza entera-continua, que junto a su alta dimensionalidad, genera un problema matemático.

La formulación apropiada de la síntesis, es un paso crucial que debe incluir todas las alternativas de interés y excluir todas las soluciones obsoletas e inatractivas.

Balancear estas dos características es una labor difícil, el procedimiento de solución que se desarrolle debe distinguir lo efectivo de lo no efectivo.

Resumiendo, la formulación matemática del problema de síntesis, debe incluir tres ingredientes principales, como son:

1. - Una función objetivo.

2. - Un conjunto factible de alternativas estructurales.

3. - Un conjunto factible de diseños, aceptables para varias unidades de operación.

Debe reconocerse que un problema de síntesis corresponde a un problema de optimización multiobjetivo, considerando como predominante la economía del proceso.

Casi todos los trabajos de síntesis de procesos han considerado el problema de optimización con un solo objetivo: el económico.

Es claro que otras consideraciones deben ser incluidas, por ejemplo:

- Rango operacional.
- Control.
- Seguridad, y
- Confiabilidad del sistema.

La construcción sistemática y organizada de alternativas estructurales, ha sido el principal objetivo para la realización de los esquemas de flujo de proceso.

Un número de investigadores ha establecido que el problema de síntesis se puede descomponer en una serie de subproblemas, los cuales sean atacados independientemente.

Así, para la síntesis de esquemas de flujo de proceso bajo condiciones de régimen permanente pueden identificarse los distintos niveles y los correspondientes problemas de síntesis:

Síntesis de Rutas de Reacción. Este problema se reduce a encontrar una secuencia de reacciones, la cual pueda ser usada para llegar a una molécula objetivo, partiendo de las materias primas disponibles, esto constituye un problema de optimización multiobjetivo.

Los objetivos típicos son:

- 1.- Minimizar el costo del sistema de proceso resultante.
- 2.- Minimizar el número de pasos de reacción requeridos.
- 3.- Maximizar la conversión de producción.
- 4.- Maximizar el uso de las materias primas iniciales.

Síntesis de Redes de Reactores. El problema es encontrar la configuración óptima del reactor. Una vez que el conjunto de reacciones ha sido seleccionado, el paso siguiente es el de determinar el tipo de reactores que serán usados (batch, tubular, fluidizado, etc.), cuantos y como son, para ser interconectados en un todo integrado.

Síntesis de Secuencias de Separación. El problema consiste en sintetizar un proceso de costo mínimo, el cual pueda aislar los productos especificados de las corrientes de alimentación de condiciones conocidas, tales como: composición, flujo, temperatura y presión.

Síntesis de Redes de Intercambiadores de Calor. El problema consiste en que dado un conjunto de corrientes calientes a ser enfriadas y otro conjunto de corrientes frías a ser calentadas, más un conjunto de servicios de calentamiento y enfriamiento disponibles, se desarrolle una red de intercambiadores de calor que cumplan con las tareas de calentamiento y enfriamiento requeridos, minimizando el costo del sistema.

Síntesis de Sistemas de Potencia y Calor. El problema general de integración de calor y potencia en un proceso, es complejo y hasta la fecha no completamente entendido; este consiste en diseñar un sistema integrado que suministre los requerimientos de calentamiento, enfriamiento y de trabajo de fiecha de un proceso dado, minimizando el costo del mismo.

Cuando la dinámica de un proceso es tomada en cuenta, surgen problemas de síntesis adicionales como:

Síntesis de Estructuras de Control de Procesos. El problema es determinar las variables que deben ser medidas para monitorear completamente un proceso, las variables deben ser usadas como "variables manipulables" para efectuar el proceso; por lo que las mediciones deben estar relacionadas con estas "variables manipulables" para lograr los objetivos de control. El objetivo de este problema de síntesis es minimizar algunos índices de funcionamiento estáticos o dinámicos, formulados apropiadamente por el sistema controlado.

Síntesis de Sistemas de Seguridad. El problema puede ser establecido en como definir una topología de elementos de medición y de variables manipulables (válvulas) tal, que el valor esperado del proceso sea menor que un límite inferior predefinido. La economía para la implementación de tales sistemas de seguridad es un objetivo adicional, pero no significa que sea el dominante.

Resumiendo esta sección, se reiteran los siguientes puntos:

- 1.- La síntesis de un esquema de flujo de proceso total, puede ser descompuesto en una serie de subproblemas de síntesis.

- 2.- Cada subproblema puede ser formulado como un problema de optimización multiobjetivo, con variables de decisión continuas y enteras.
- 3.- El espacio factible de las decisiones continuas, puede ser definido por las especificaciones de diseño fácilmente.

TECNICAS DE SOLUCION DE PROBLEMAS DE SINTESIS DE PROCESOS

Para la resolución de los problemas de síntesis de procesos, es necesario llevar a cabo una optimización multiobjetivo mixta entera no lineal, que resulte de formular la síntesis de un sistema de proceso.

Una solución analítica o numérica del problema, está más allá de las habilidades comunes y aún para el futuro su resolución no es atractiva por las siguientes razones:

- 1.- No todos los objetivos pueden ser cuantificados a un nivel satisfactorio.
- 2.- No todos los datos físicos o químicos están disponibles y frecuentemente el diseñador confía en similitudes, paralelismos, inducciones, etc..
- 3.- El espacio factible para las decisiones enteras (alternativas estructurales), contienen un gran número de elementos redundantes, los cuales tendrán que ser investigados, evaluados y seleccionados por un procedimiento automático.

De lo anterior se deduce que se deben formular versiones simplificadas del problema de síntesis original. Tales simplificaciones son el resultado de una variedad de

estrategias de síntesis. Ahora se tratarán de presentar, de una forma sistemática, las diversas estrategias propuestas por varios investigadores para la solución del problema de síntesis total o sus subproblemas, existiendo condiciones, que simplifican la formulación del problema de síntesis, y que son:

- 1.- Considerar el objetivo dominante del problema como objetivo único y los restantes manejarlos como restricciones al problema.
- 2.- Limitar el espacio del diseño de unidades aceptables, a valores representativos, correspondientes a un rango recomendable de variables de diseño (P, T, tc.).

Para el desarrollo de una mejor resolución del problema se hace una búsqueda de clasificaciones, dentro de las cuales se contemplan los siguientes puntos:

- 1.- Aquellas que cuantifican todas las alternativas estructurales, obviamente resultan no factibles.
- 2.- Considerar sólo un subconjunto limitado de todas las alternativas.

Para los puntos 1 y 2 surgen otras dos categorías:

- I.- Aquellas que consideran sólo configuraciones estructurales completamente desarrolladas.
- II.- Métodos que permiten configuraciones parcialmente desarrolladas, con grados variables de complejidad.

Además, pueden distinguirse las siguientes subcategorías:

a.- Métodos algorítmicos. Dentro de los métodos algorítmicos se distinguen varias subcategorías, como son:

1a.- Técnicas algorítmicas usando programación dinámica.

1b.- Técnicas algorítmicas usando optimización multinivel.

1c.- Técnicas algorítmicas usando programación lineal.

1d.- Técnicas algorítmicas usando ramificación y acotamiento.

1e.- Técnicas algorítmicas usando otras técnicas de optimización.

b.- Métodos heurísticos. Los métodos heurísticos son el resultado de la experiencia, intuición y de resultados semi-riqueños de un análisis.

c.- Métodos híbridos de herramientas algorítmicas o heurísticas.

De la combinación de estas categorías surge una amplia variedad de métodos y de estrategias de búsqueda.

Cada alternativa es desarrollada completamente y la selección factible se realiza por un método algorítmico.

De lo anterior resultan tres cuestiones centrales de la síntesis de procesos:

1.- Como limitar el espacio de alternativas a solo las factibles?. Existen dos formas:

A.- Emplear la heurística para reducir el espacio de búsqueda, pues existen algunas heurísticas (sin

demostrar) con validez casi universal, ya que no excluyen al alternativas factibles.

- B.- Usar las estrategias evolutivas en conjunto con las heurísticas o las estrategias de ramificación y acotamiento (lo conveniente de la síntesis evolutiva es que se dirige siempre a mejorar el proceso).

Independientemente del uso de las tres estrategias mencionadas, el espacio de búsqueda es limitado.

- 2.- Deben las estrategias de búsqueda emplear esquemas de flujo de procesos completa o parcialmente?. Los esquemas desarrollados completamente requieren un cálculo más complejo; pero, no conducen a conflictos en la misma configuración.

Los esquemas desarrollados parcialmente requieren menos cálculo, pero, la toma de decisiones puede conducir más tarde a conflictos, cuando el esquema de flujo es completado. El balanceo de esto es crítico y no se ha encontrado la forma de solución.

- 3.- Qué métodos utilizar: algorítmicos, heurísticos o híbridos?. Los métodos algorítmicos ofrecen resultados rigurosos, los heurísticos simplicidad y los híbridos combinan ambas ventajas.

Pocos problemas pueden ser resueltos por métodos puramente algorítmicos; y de los métodos algorítmicos de ramificación y acotamiento, pocos se han desarrollado con eficiencia. Por otro lado, en los métodos heurísticos son poco confiables y generales, y a menudo se contradicen entre ellos. La

tendencia general es desarrollar heurísticas más eficientes, producto de un análisis profundo de las características de los subproblemas de síntesis y entonces fusionarlas con los procedimientos algorítmicos simples.

ESTRATEGIAS DE BUSQUEDA APLICADAS A SUBPROBLEMAS DE SINTESIS

Ahora se mostrarán varias estrategias de búsqueda y cómo han sido aplicadas a algunos subproblemas de síntesis.

Síntesis de rutas de reacción.- Aunque se han desarrollado alternativas con altos niveles de formalismo y rigurosidad, la selección de la mejor ruta de reacción depende enteramente de los métodos heurísticos, cuyas principales reglas son:

- 1.- El ΔG de cada reacción en la ruta, debe ser menor de 10 kcal./mol.
- 2.- Sólo son consideradas las reacciones con ΔG aceptable para un rango de temperatura pre-especificado.
- 3.- Reacciones altamente endotérmicas son excluidas.

Síntesis de redes de reactores.- Casi todos los trabajos de esta área han utilizado búsquedas algorítmicas, la uniformidad de aproximación de éstos, se atribuye al hecho de que la actitud fue más analítica que de síntesis en su naturaleza.

Síntesis de secuencias de separación.- La literatura sobre este tópico es muy amplia y las aproximaciones propuestas (la mayoría desarrolladas en la década de los 70 s), pueden ser divididos en tres categorías:

- a.- Métodos heurísticos.
- b.- Estrategias evolutivas.
- c.- Técnicas algorítmicas.

Cada una de las ventajas y desventajas de los métodos heurísticos distinguen dos clases:

- a.- La que trata sólo síntesis de secuencias de separación, usando la destilación.
- b.- La que permite en adición a la destilación, la destilación extractiva, la cristalización extractiva, la absorción y otros métodos de separación.

La Síntesis evolutiva de secuencias de separación incluye las tres siguientes subtarear:

- 1.- Generar la secuencia de separación inicial.
- 2.- Identificar las reglas evolutivas.
- 3.- Determinar la estrategia evolutiva.

Los métodos algorítmicos intentan sintetizar la mejor secuencia de separación, usando métodos bien conocidos de optimización. Existen otros métodos desarrollados con cierto contenido analítico y algorítmico y que han sido clasificados como heurísticos.

Síntesis de columnas de destilación con integración de calor.- Las técnicas desarrolladas, comprenden estrategias básicamente algorítmicas, o híbridos de técnicas algorítmicas y heurísticas.

Se tiende al desarrollo de la heurística y de los aspectos termodinámicos, porque los trabajos desarrollados sobre este tópico han revelado que las consideraciones termodinámicas pueden conducir a reglas útiles para síntesis.

Síntesis de redes de intercambio de calor.- Los progresos en los problemas de síntesis han sido notables con aceptación en la industria, probablemente debido al hecho de que es el problema mejor comprendido.

Los primeros intentos de resolución fueron algorítmicos en naturaleza, haciendo uso de programación separable, y formulándolos como un problema de programación lineal; proponiéndose búsquedas heurísticas, algorítmicas e híbridas para localizar el óptimo, siendo las búsquedas evolutivas las más importantes en la síntesis del óptimo de las redes de intercambio de calor.

Aunque el número y diversidad de estrategias de búsqueda para este tipo de subproblema es impresionante. El avance en la resolución del mismo no se debe a la efectividad de estas, sino a que fue posible resolver un número de cuestiones centrales.

En la resolución del problema se han identificado tres resultados principales para la reducción del espacio completo de búsqueda:

- 1.- Un requerimiento mínimo de servicios.
- 2.- Un mínimo de intercambiadores de calor.
- 3.- Localizar "cuellos de botella" en el proceso para una posterior integración de calor.

Síntesis de sistemas de potencias y calor.- Sobre este tema se han desarrollado dos principales técnicas de aproximación, las técnicas algorítmicas y los objetivos termodinámicos:

1.- Las técnicas algorítmicas utilizan programación mixta entera lineal y no lineal para la optimización paramétrica y estructural de un sistema de potencia calor.

2.- Los objetivos termodinámicos extienden el concepto de "correcta localización" de máquinas y bombas de calor con respecto al punto de pliegue o "límite" de una red de recuperación de calor, logrando una máxima utilización del calor de entrada al sistema.

Síntesis de esquemas de flujo de procesos completos.- Inicialmente se recurrió a la búsqueda heurística; la organización de tales reglas es asistemática y a la vez adecuada. Posteriormente, se desarrollaron técnicas algorítmicas, para la dimensionalidad del problema haciendo aproximaciones simplemente utópicas y sólo pocos han sido resueltos.

LOGROS OBTENIDOS EN LA RESOLUCION DE SUBPROBLEMAS DE SINTESIS

Dentro de los logros obtenidos en la resolución de subproblemas de síntesis se encuentran:

Síntesis de rutas de reacción.- Se han desarrollado programas de computadora para la síntesis de rutas de reacción, en los cuales los bancos de datos constituyen una gran parte de todo el desarrollo y son básicamente heurísticos en su naturaleza, ejemplo de ellos son:

* LHASA, (Logic and Heuristic Applied to Synthetic Analysis), desarrollado por Corey (1972).

* SYNCHEM, desarrollado por Gelernter (1971, 1973).

* SECS (Simulation and Evaluation of Chemical Synthesis), desarrollado por Wipke (1974, 1977).

* REACT, programa desarrollado por Powers y Govin (1977), representa el primer esfuerzo serio para automatizar la generación de rutas de reacción para la industria petroquímica.

Síntesis de redes de reactores.- Un gran número de estudios de optimización sobre reactores químicos han sido conducidos para investigar los efectos de distribución de temperatura, distribución de tiempo de residencia, perfil de dilución catalítica, etc., sobre funcionamiento de reactores. Estos estudios consideran generalmente un único reactor con patrones de mezclado especificados. Los estudios sobre configuraciones óptimas de reactores químicos son escasos.

Síntesis de secuencias de separación.- Sobre este tópico, los primeros métodos intentan sintetizar secuencias que empleen una sola técnica de separación (casi todas usan destilación) y los segundos consideran varios métodos de separación durante la síntesis.

Los primeros métodos fueron heurísticos en su naturaleza; en general, la heurística utilizada puede ser dividida en dos grupos:

- 1.- Las reglas que determinan la estructura de la secuencia de separación.

- 2.- Las reglas que determinan las condiciones de operación de los separadores, y las características de diseño de las unidades.

Para la síntesis de secuencias de destilación existen muy buenas reglas heurísticas, con un amplio rango de aplicación. Con el incremento del enfoque sobre los problemas de síntesis, las técnicas algorítmicas e híbridas entran en juego:

- * Hendry y Huges (1972), desarrollado con programación dinámica.

- * Westerberg y Stephanopoulos (1975), utilizaron la estrategia de ramificación y acotamiento, surgida del procedimiento de optimización a dos niveles.

- * Rodrigo y Seader (1975), y Gómez y Seader (1976), propusieron estrategias de ramificación y acotamiento ayudadas por reglas heurísticas.

- * Seader y Westerberg (1977), Nath y Motard (1978), usaron búsquedas evolutivas basadas en una lista de reglas heurísticas.

Síntesis de secuencias de separación con integración de calor.- Los métodos de trabajo para este tipo de síntesis fueron:

- * El primer intento sistemático se le acredita a Stupin y Lockhart (1972) y en una forma más organizada a Rathore, Von Warmer y Powers (1974), quienes usaron técnicas de procesamiento de listas y una estrategia de programación dinámica.

- * Los trabajos de Sophos, Stephanopoulos y Morari (1978) y Forth y Morari (1979), usaron las técnicas de ramificación y acotamiento del procedimiento de optimización a dos niveles.

* Umeda y colaboradores (1979), atacaron el problema para un número limitado de secuencias de separación usando aspectos termodinámicos.

* Los trabajos de Sophos, Linnhoff y Stephanopoulos (1980), revelaron que las reglas heurísticas pueden ser definidas en términos de: El ΔT entre corrientes de domos y fondos de diferentes columnas de destilación, y el contenido calorífico de estas corrientes.

Síntesis de redes de intercambio de calor.- Los principales trabajos realizados sobre este tópico han sido:

* HWA (1965), usó programación separable. Kesler y Parker (1969), Kobayashi et. al. (1971), Cena et. al. (1977), formulando la síntesis como un problema de programación lineal.

* Masso y Rudd (1969), Ponton y Donalson (1974), Donalson et. al. (1976), emplearon la heurística.

* Los trabajos de Pho Lapidus (1973), y Menzies y Jhonson (1972), pueden ser vistos como híbridos.

* Los trabajos de McGalliar y Westerberg (1971, 1972), Grossmann y Sarget (1978), son búsquedas algorítmicas rigurosas.

* Los trabajos de McGalliar y Westerberg (1972), Shan y Westerberg (1975), Nishida, Lui y Lapidus (1977), Linnhoff y Flower (1978), Grimes, Rychener y Westerberg (1980), pertenecen a la categoría de búsqueda evolutiva.

* Nishida, Sephanopoulos y Westerberg (1980), identificaron los siguientes tres pasos en la síntesis de redes de intercambio de calor: Primero, preámbulo para

determinar metas y limitaciones; segundo, invención de redes; y tercero, Evolución.

* Los trabajos de Rathore y Powers (1975), Nishida, Liu y Lapidus (1977), Grossmann y Sarget (1978). mientras que los trabajos de Hofmann (1971), Linnhoff y Flower (1978) y Greenkorn, Koppel y Raphaven (1978), desarrollaron los límites de servicios mínimos los cuales pueden ser siempre encontrados.

* Cerda y Westerberg (1980), extendieron los métodos que calculan los requerimientos mínimos de servicios. La extensión les permitió excluir varias combinaciones entre pares diseñados de corrientes, reduciendo más el espacio de búsqueda.

* Simplificación adicional a la búsqueda fue hecha por Linnhoff y Flower (1975), ellos declararon que si un punto de pliegue ocurre en una red, entonces este descompone efectivamente el problema de síntesis en dos subproblemas de síntesis.

* (Westerberg (1979), Umeda, Harada y Shiroki (1979) y Umeda, Nishida y Shiroko (1979), demostraron cómo usar la localización del punto de pliegue para mejorar la red, haciendo ajustes estructurales, los cuales conducen a una mejor síntesis.

Síntesis de Sistemas de Potencia y Calor.- Los principales trabajos efectuados sobre este tema han sido:

* Nishio (1977), considera el problema de selección de niveles de presión óptimos en cabezales de sistemas de servicios y presentar una aproximación de búsqueda directa, acoplada con la solución simultánea de las ecuaciones del balance de energía.

* Nishio et. al. (1980), propone el uso de las pérdidas de energía, como un criterio en el planteamiento de su anterior metodología.

* Grossmann y Santibáñez (1979), consideraron el uso de los métodos de la programación mixta entera, para seleccionar los niveles de presión óptimos por asignación de variables 0-1, a varios posibles valores de presión.

* D.W. Townsend y B. Linnhoff (1983), fueron los primeros en considerar la integración de las redes de recuperación de calor de un proceso con las máquinas y bombas de calor, partiendo del concepto del punto de pliegue y de la definición de una correcta localización, obteniendo un 100% de aprovechamiento de las pérdidas de calor del sistema.

* R. J. Wilcox (1985), amplía los trabajos de Townsend y Linnhoff, presentando un conjunto de reglas sistemáticas para conducir los cambios de presión de las corrientes de proceso, en una forma integrada.

Síntesis de Esquemas de Flujo de Procesos Completos. - Los trabajos dirigidos a la síntesis de esquemas de flujo de procesos completos han sido:

* Sistemas AIDES Y BALTAZAR, utilizan una secuencia de reglas heurísticas (Jhons y Romero (1979), emplearon también la heurística).

* Umeda, Hirai y Ichikawa (1972), Osakada y Fan (1973), Nishida, Fan y Erickson (1973), Himmelblau (1975), Stephanopoulos y Westerberg (1976), Nishida y Powers (1978), son aproximaciones algorítmicas usadas en la optimización y solución del problema de síntesis; la base de tales aproximaciones es el concepto de ajuste de la

estructura óptima en una estructura más grande que incluye todos los arreglos posibles (superestructural), utilizando variables de decisión llamadas parámetros estructurales que determinan si una interconexión es parte de la estructura o no.

* El trabajo de Grossman y Santibáñez (1979), en el cual se reformula el problema como una programación entera lineal mixta, que explota la alta eficiencia de los códigos de la programación lineal.

EL METODO DE DISEÑO PARA REDES DE INTERCAMBIO DE CALOR

Las Redes de Intercambio de Calor (Heat Exchanger Network "HEN") son un aspecto clave para el diseño de procesos químicos. La complicada tarea para especificar el suministro de temperatura de calentamiento y enfriamiento en procesos es el objetivo del método de diseño de las redes intercambio de calor.

Actualmente del 20% al 30% de la energía, unido con el ahorro de capital, puede ser realizado para mejorar el diseño de las redes de intercambio de calor. Por lo que, el propósito es minimizar los costos totales, los costos de capital y los costos de operación expresados como carga anual.

La aplicación de métodos de optimización para las redes existentes de un proceso en desarrollo o en funcionamiento implica: una mínima utilidad de uso, la mínima área total de superficie, y, el mínimo número de unidades (intercambiadores de proceso y de servicio).

El cálculo de este método es simple de manera que el diseño pueda ser usado, primero para estimular al diseñador con

mejores trabajos; y segundo, dar al diseñador la confianza que esta solución es casi óptima.

Los procedimientos para la utilidad mínima de de energía requerida por el proceso, fueron dadas por Hohmann (1971) y por Linnhoff y Flower (1978). Ambos procedimientos identificaron la mejor forma posible de recuperación de calor del proceso como una función de la diferencia mínima de temperatura en intercambiadores, calentadores y enfriadores ($\Delta T_{min.}$).

Hohmann observó que el número mínimo de unidades son generalmente una función del número de corrientes de procesos y servicios expresadas en la simple relación:

$$U_{min.} = N - 1 \dots (1)$$

Donde:

$U_{min.}$ = Es el número mínimo de unidades.

N = Es número de corrientes de procesos y servicios.

Later, Linnhoff (1979) explicaron esta ecuación como un caso especial del teorema general de red de Euler (1972), también mostraron que la forma general del teorema relaciona el número actual de unidades en una red, como opuesto al mínimo número de componentes separados, los cuales dentro de la red pueden ser separados en un número de ciclos de retroalimentación o "loops". La teoría fue en aquel tiempo extendida más por Linnhoff (1980-1981), e independientemente por Grimes (1980), demostrando que en los problemas parecen una "red límite" de requerimientos mínimos de servicios y número mínimo de unidades que son frecuentemente incompatibles entre sí.

El propósito del método es el de dar una solución de mínima energía (ΔT_{min}), con no más unidades que sean compatibles con este mínimo de energía. Esta tarea es realizada por medio de un completo entendimiento del fenómeno del límite. Además, el método comprende una reducción del número de unidades, teniendo como resultado la reducción de parte del uso mínimo de servicios.

El método de diseño límite identifica situaciones donde una corriente principal del proceso requiere de un diseño mínimo de servicio.

EL LIMITE (PINCH)

El límite es conocido como la distancia mínima de separación entre las corrientes frías y corrientes calientes que componen al proceso en estudio.

El método del límite (llamado también método de síntesis o de integración de energía "Pinch") se puede enfocar desde cinco puntos o partes diferentes:

- 1.- Un breve análisis del como el límite es localizado.
- 2.- El significado físico del límite y la descripción de sus implicaciones sobre el uso de servicios.
- 3.- Una representación para datos del límite y de la corriente de la red de intercambio de calor.
- 4.- Los factores críticos en el caso de límites en problemas industriales, son puestos en relieve, por lo cual el mejoramiento de la red de intercambio de calor en problemas industriales tiene límites.

5.- Las implicaciones de los límites de la red de intercambio de calor sobre el costo de capital son considerados.

Localización del límite.- La tarea de localización del límite y la real aplicación del método de diseño límite es aplicado en el problema real de la planta de dodecibenceno, contando para ello con datos reales de operación.

La localización del límite para un problema de redes de intercambio de calor, junto con el mínimo requerimiento de servicios, puede ser calculado, haciendo uso de un valor de la ΔT_{min} específica. Asimismo, para garantizar la facilidad de completar el intercambio de calor de corrientes calientes y corrientes frías es necesario separarlas por medio de la ΔT_{min} .

La facilidad de completar el intercambio de calor entre todas las corrientes calientes y frías es un aspecto importante del problema. Esto es, que cada una de estas subredes, sean una red de déficit de calor o excedente, pero nunca ambos. La convención del signo es tal que un excedente es negativo y un déficit es positivo.

Otro aspecto importante del problema es la facilidad de la transferencia de calor para subredes de muy altas y muy bajas temperaturas (transferencia de calor en cascada). En otras palabras, el calor excedente de subredes de altas temperaturas, puede ser usado para satisfacer las deficiencias de calor de subredes de baja temperatura. El cálculo de la cantidad de calor pasado dentro de ésta, es realizada formando columnas en forma de tabla.

Por lo tanto, si los valores negativos son generados en estas columnas el calor de entrada deberá ser incrementado. El incremento mínimo es el que garantiza que todos los flujos de calor sean positivos o iguales a cero.

El límite señala la separación del problema dentro de dos regiones:

- a.- Efecto de calentamiento. Comprende todas las corrientes o partes de corrientes más calientes que la temperatura límite, requiriendo intercambio solo del proceso de y servicios de enfriamiento (fig. 1c).
- b.- Efecto de enfriamiento. Comprende todas las corrientes o partes de corrientes más frías que la temperatura límite, requiriendo sólo intercambio del proceso y servicios de calentamiento. El efecto de enfriamiento es referido a un origen de calentamiento como único servicio de enfriamiento requerido (fig. 1b).

Cuando no hay transferencia de calor a través del límite, se dice que ambos requerimientos son el mínimo ejecutable.

Consideración de los efectos de transferencia de calor a través del límite.- Para cualquier calor transferido deberá hacerse un balance de entalpía alrededor de la entrada, y ser suministrado según los servicios de calor en adición a el mínimo requerimiento. Similarmente, el balance de entalpía alrededor del origen señala que la transferencia de calor a través del límite incrementa también los servicios de enfriamiento arriba del mínimo requerido (fig. 1a).

En otras palabras, la transferencia de calor a través del límite incurre en el doble inconveniente del incremento de servicios de calentamiento y enfriamiento requeridos para la tarea de diseño de la red de intercambio de calor.

Usando un argumento equivalente, la eficiencia de enfriamiento por arriba y servicio de calentamiento por abajo del límite, pueden ser determinados (fig. 1b y 1c). Un

suministro de calor "Y" desde la entrada o suministro incrementa ambos servicios para "Y" (fig. 1b). Un suministro de calor "Z" a la fuente tiene efectos análogos (fig. 1c). De este modo, para el mínimo de servicios, el uso de servicios de enfriamiento no está permitido por arriba del límite y el uso de servicios de calentamiento no está permitido por abajo del mismo.

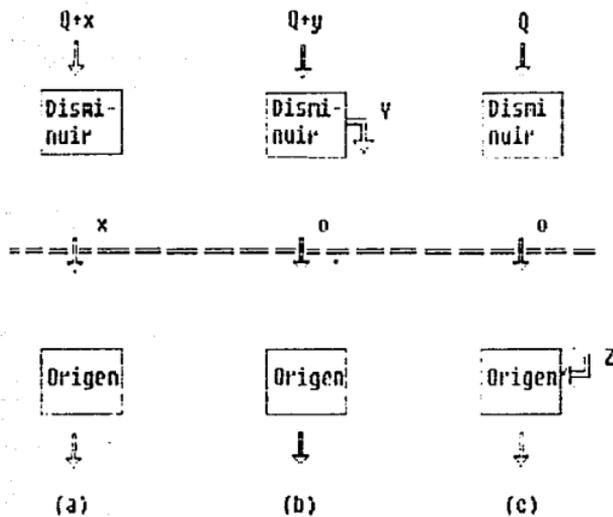
En redes complejas, los intercambiadores y servicios de calentamiento y enfriamiento pueden estar en lugares dentro de posiciones que violen el límite. El resultado puede causar mayor cantidad de servicios de calentamiento y enfriamiento de los que pueden ser requeridos.

Representación del límite de la red.- Los procesos de intercambio de calor son representados por líneas verticales, los enfriadores y calentadores son representados en la red por círculos sobre las corrientes frías y sobre las corrientes calientes (fig. 2).

Las corrientes calientes son agrupadas de manera simultánea en la parte superior y movidas a la izquierda o derecha de los puntos de suministros de las temperaturas; las corrientes frías pueden moverse a contracorriente. En contraste, la división del límite está representada en un diagrama para dividir los datos de corriente con las temperaturas apropiadas, teniendo presente la separación de corrientes calientes y frías por el ΔT_{min} .

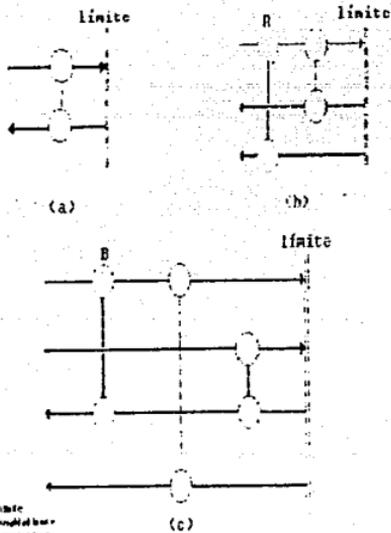
La representación del límite en la red es conveniente cuando un diseño es desarrollado, sea nuevo o readaptado. Por lo tanto, se puede hacer una representación del límite la cual muestre los datos de la corriente y el límite simultáneamente. En adición, la representación puede ser suficientemente flexible para permitir una fácil manipulación de igualdades.

FIGURA No. 1



(a) efecto de la tracción en el cable a través del cable
 (b) efecto de los términos de engrasamiento arriba del cable
 (c) efecto de los pernos de calentamiento abajo del cable

FIGURA No. 2



(a) limite
 (b) limite
 (c) limite

Problemas de entrada. - El concepto de un problema de entrada es la igualdad realizada entre una corriente caliente "muy caliente" y una corriente fría "muy fría". Sin embargo, cuando un límite no puede ocurrir en todos los problemas de las redes de intercambio de calor, éstos permanecerán libres del límite hasta que el mínimo permitido conduzca a forzar un ΔT_{\min} . Este incremento es totalmente superior a un valor de entrada ($\Delta T_{\text{entrada}}$). A este conjunto de problemas se llama "problemas de entrada".

El diseño para estas redes consiste de un intercambiador individual y un servicio de calentamiento. Los servicios de calentamiento son requeridos sólo para realizar los balances de entalpía para el problema total. Sin embargo, cuando la ΔT_{\min} especificada excede la $\Delta T_{\text{entrada}}$, las necesidades para ambos servicios de calentamiento y enfriamiento son introducidos. Esto es porque el intercambio de calor entre dos corrientes no es completo.

Un aspecto general de un problema de entrada se tiene cuando el ΔT_{\min} específico es igual al valor de entrada, asimismo el problema tiene sus propios límites, sin embargo el uso de servicios es el mismo para valores menores de ΔT_{\min} . Además cuando el ΔT_{\min} equivale al $\Delta T_{\text{entrada}}$ un límite es introducido dentro del problema.

Es interesante notar que muchos de los problemas en la literatura sobre diseño de redes de intercambio de calor son problemas de entrada. La importancia de esta explicación es conveniente si se considera que los problemas industriales son problemas limitados.

Se reconoce a estos problemas de entrada porque de su relación entre el uso mínimo de servicios y ΔT_{\min} , surge una relación que puede ser resumida como sigue:

$$0 < \Delta T_{\min} < \Delta T_{\text{entrada}}$$

Uno u otro uso de servicios de calentamiento o enfriamiento, pero no ambos, es requerido y el problema no es limitado:

$$\Delta T_{\min.} = \Delta T_{\text{entrada}}$$

El mismo requerimiento de servicios de calentamiento para valores muy lejos del $\Delta T_{\min.}$ son requeridos, pero el problema ahora es limitado:

$$\Delta T_{\min.} > \Delta T_{\text{entrada}}$$

Ambos servicios de calentamiento son requeridos; por lo tanto, el problema es limitado.

Es posible aplicar al método de diseño límite a problemas de entrada con tal que el $\Delta T_{\min.}$ este ajustado a el valor de entrada (en el diseño industrial, los problemas de entrada son raros).

Por otra parte, igual en casos donde sólo los servicios de calentamiento y un enfriamiento son aprovechables, los problemas de entrada pueden solo existir si en el proceso existen grandes fuerzas de manejo (reactores, separadores, intercambiadores, etc.).

Implicaciones del costo de capital del límite.- Linnhoff y Grimas independientemente concluyeron que el número mínimo de unidades se obtenía por la ecuación:

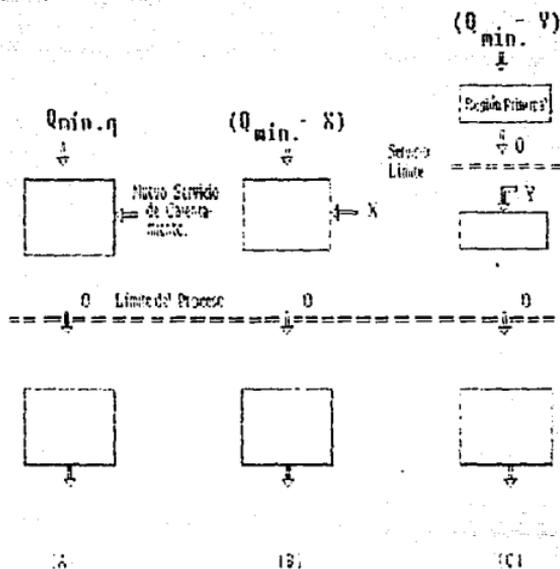
$$U_{\min.} = N - 1 \dots \dots (1)$$

Donde:

$U_{\min.}$ = Al número mínimo de unidades.

N = El número de corrientes de procesos y de servicios.

FIGURA No. 3



- (A) - El lugar correcto de un nuevo servicio de clientes.
- (B) - Distribución del mínimo requerimiento de clientes.
- (C) - El límite de servicio.

Aplicado a el efecto de calentamiento y al efecto de enfriamiento de manera separada, se tiene:

- * Si el calor "X" es transferido a través del límite, se incurre en un error al incrementar los servicios de calentamiento y enfriamiento.
- * la ΔT_{min} impuesta puede obligar inicialmente a ser relacionado en ciertos intercambiadores sujetos a $\Delta T_{min} > 0$ (fig. 3).

En el primer caso, hay un costo de intercambio entre el número de capital y el uso de servicios; en el segundo caso, hay un costo de intercambio entre el número de unidades y el área de superficie.

METODO DE DISEÑO LIMITE

Lo anteriormente mencionado permite hacer la distribución en relación al uso de los servicios, de capital, la incidencia y localización de la red de intercambio de calor en el límite. Con esto, se puede desarrollar la metodología totalmente nueva del diseño obteniendo rápidamente las soluciones de los problemas de intercambio de calor.

El propósito inicial es producir un diseño usando el mínimo de servicios en compañía de poco capital y de unidades, a medida que sea compatible.

El método de diseño se basa en el concepto llamado: "la filosofía". Esta discusión detalla el procedimiento, especialmente, el desarrollo del "criterio de posibilidad", el cual cuantifica los lugares de restricciones sobre el diseño del límite; el uso de una "heurística tick-off", para asegurar y dirigir en el diseño el más mínimo posible de

unidades y la solución del "problema restante", permitiendo la consideración de restricciones y otros requerimientos del proceso.

La filosofía.- Es la representación de la región más restringida de un diseño límite.

El método de diseño límite:

- * Reconoce la división del límite.

- * El diseño del límite parte desarrollando éste separadamente dentro de dos problemas restantes.

Un diseño del límite tiene diversas ventajas que permiten al diseñador la identificación esencial de igualaciones u opciones topológicas en la región de más restricción del diseño.

una ventaja más amplia para el diseñador, es que puede tener la opción de violar o infringir el límite, requiriendo para ello un amplio conocimiento de las desventajas en que puede incurrir finalmente (por ejemplo, si una igualación local del límite es infringida, el flujo de calor a través de este debe ser rápidamente restablecido; pero este flujo de calor es equivalente al incremento final en los servicios de calentamiento y enfriamiento en el diseño).

La tarea de diseño del límite es una restricción no prolongada, para que el número de opciones topológicas sean incrementadas. Esto aumenta el número de opciones que pueden usarse para ventaja del diseñador y pueda guiar su diseño, usando su criterio y conocimiento del proceso, alrededor de una red práctica, segura y controlable.

El método no puede "revelar" al diseñador si hay opciones accesibles a el límite, y si las corrientes rápidas son requeridas. Cuando los cálculos se alejan del límite la falta

de posibles criterios disminuye y el método permite la elección de topologías basadas en requerimientos del proceso.

En resumen, el método de diseño del límite incorpora fundamentalmente dos aspectos importantes:

Primero: El límite es la región de temperatura más restringida. El diseño procedente y desarrollado del límite es un movimiento de distancia.

Segundo: Permite al diseñador la elección de otras opciones.

Criterio de posibilidad del límite.- El criterio de posibilidad de igualdades en el límite requiere de:

La identificación esencial de igualdades en el límite.- las opciones de diseño accesibles y la necesidad de dividir las corrientes, es requerida para aplicar el criterio de factibilidad de la corriente límite. El desarrollo de estas referencias del criterio de factibilidad son aplicadas a los "intercambiadores límite" (llamadas algunas veces igualdades límite"). En la fig.3 se observan estos intercambiadores, los cuales se aproximan a la temperatura mínima ΔT_{min} , en el lado mínimo y en el límite.

El número de corrientes de proceso y divisiones.- La las corrientes calientes y frías puede ser tales que estas puedan permitir un acomodamiento de intercambiadores compatibles con el mínimo uso de servicios.

En resumen, el efecto de calor en las corrientes en el límite es compatible con un diseño mínimo de servicios, solo si una igualdad límite puede ser encontrada para una corriente caliente. Para que esto ocurra se debe de aplicar la desigualdad:

$$NH < NC \dots \dots (A)$$

Donde:

NH es el número de corrientes o divisiones calientes, y
NC es el número de corrientes o divisiones frías.

Para evitar el servicio de calentamiento en cada corriente fría, esta debe de ser llevada a la temperatura del limite por intercambios de proceso.

Como resultado, una igualdad limite es requerida para cada corriente fría en el limite, esto sólo es posible si se ocupa la desigualdad:

$$NH > NC \dots \dots (b)$$

Otras veces la corriente rápida puede ser necesaria para asegurar, que la desigualdad es realizada.

La desigualdad del calor especifico (C_p) para igualdades individuales.- El segundo criterio de factibilidad es relacionado con la temperatura. Como se observa en la fig.4, la temperatura manipulada en una igualdad limite no puede disminuir a lo lejos del mismo. Para esta condición deben ser cumplidas las siguientes desigualdades de C_p , que deberán aplicar en cada igualdad, limite:

Efecto de calor en la igualdad limite:

$$C_{PH} < C_{PC} \dots \dots (c)$$

Efecto de enfriamiento en la igualdad Limite:

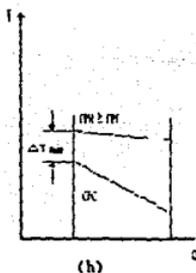
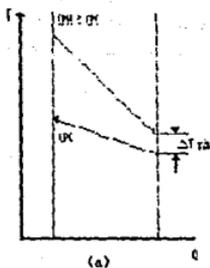
$$C_{PH} > C_{PC} \dots \dots (d)$$

Donde:

C_{PH} : Es la capacidad calorífica del gasto de una corriente caliente o de una corriente dividida; y,

C_{PC} : es la capacidad calorífica del gasto de una corriente fría o de una corriente dividida.

FIGURA No. 4



- (a).- Intercambio factible por arriba del límite.
(b).- Intercambio factible por debajo del límite.

Si el argumento de igualdades cumple estas desigualdades, entonces es posible que estas no sean cambiadas por uno o más Cp's.

Se puede observar que las desigualdades "a y b" únicamente se aplican en el límite. Lejos del límite, las fuerzas de impulso de temperatura pueden ser incrementadas lo suficiente para permitir igualdades en las cuales los Cp's de las corrientes iguales violan las desigualdades.

La diferencia de calor específico (Cp).- El conocimiento o arreglo del tercer criterio de factibilidad en el límite es definir la "diferencia de calor específico (ΔC_p)":

Para un efecto de calentamiento en la igualdad del límite:

$$C_{p\text{diferencia}} = C_{PC} - C_{PH} \dots \dots (e)$$

Para un efecto de enfriamiento en la igualdad del límite:

$$C_{p\text{diferencia}} = C_{PH} - C_{PC} \dots \dots (f)$$

Ecuaciones similares pueden ser escritas para las diferentes sumas de Cp's de las corrientes calientes y Cp's de Las corrientes frías en el límite.

Inmediatamente arriba del límite:

Diferencia total de Cp (ΔC_{p_T}):

$$C_p = \sum_1^{NC} C_{pC} - \sum_1^{NC} C_{pH} \dots \dots (g)$$

Inmediatamente abajo del límite:

Diferencia total de C_p (ΔC_p):

$$C_p = \sum_1^{NC} C_{PH} - \sum_1^{NC} C_{PC} \dots \dots (i)$$

La fig. 5, ilustra como se puede usar el concepto de ΔC_p para una fácil identificación de igualdades, que son factibles pero no compatibles con una red total viable.

En la fig. 5a, se muestra un caso donde la suma de la ΔC_p de la igualdad es igual a la diferencia total (todas las corrientes en el limite estan involucradas dentro de intercambios).

La fig. 5b muestra un efecto de calentamiento en el diseño limite para un problema diferente, donde la cantidad de la igualdad en limite de ΔC_p 's es menor que el total. En este caso no todas las corrientes de el limite son involucradas en las igualdades. La fig. 5c, muestra un problema diferente donde de nuevo la igualdad limite es la ΔC_p excede del total.

Se puede generalizar para poder decir que la ΔC_p de todas las igualdades limite deben ser siempre limitadas a la diferencia total de C_p (ΔC_p).

La tabla de calor especifico (C_p).- Las figs. 6 y 7, muestran paso a paso el procedimiento para aplicar los requerimientos factibles:

- * Identificar igualdades del limite.

- * Identificar igualdades opcionales accesibles a el limite.

- * Identificar la necesidad de dividir corrientes para generar corrientes rápidas opcionales limite.

FIGURA No. 5

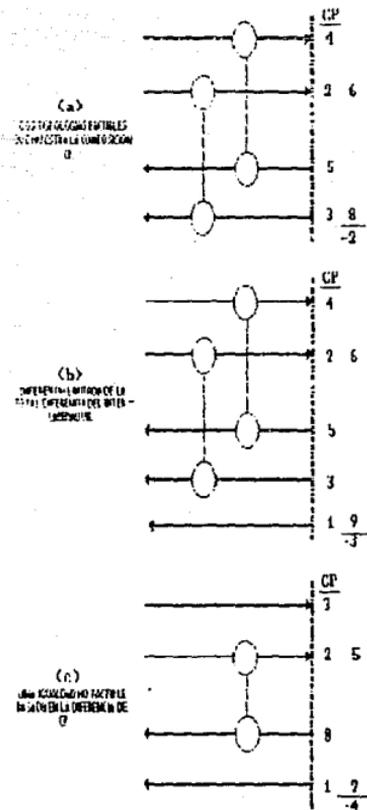
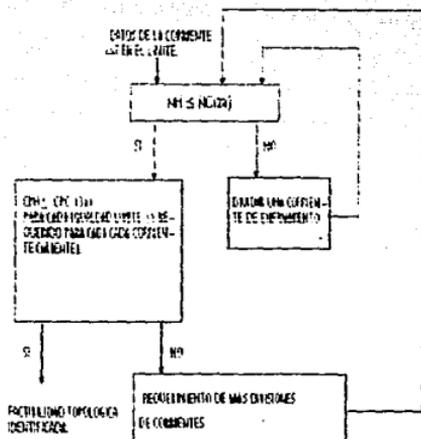


FIGURA No. 6



Procedimiento de identificación de las regiones topológicas.

La heurística "tick-off".- La heurística "tick-off" es una heurística que puede ocasionalmente penalizar al diseño para introducir la necesidad de incrementar el uso de servicios.

Asimismo, la de temperatura es esencial, ya que la "fuerza impulsora" generada por ella puede ser usada totalmente en el área del límite. En tales casos se puede proceder en cualquiera de las dos formas siguientes:

- 1.- Reducir la carga igual a la carga límite introduciendo el riesgo de una necesidad mayor que el número mínimo de unidades.
- 2.- Usar otra topología límite de penalización en la cual la heurística "tick-off" no sea utilizada totalmente, a fin de evitar alguna fuerza "impulsora".

La técnica anterior puede ser llamada "análisis del problema restante". Esta es un mecanismo dependiente de las pruebas y las consecuencias de la aplicación de la heurística "tick-off". Sin embargo, debido al esfuerzo implicado, esta puede ser únicamente usada en situaciones complejas para confirmar el fundamento para planteamientos de diseño.

El diseño de los efectos de calentamiento y enfriamiento, debe de ser conducido al mínimo número de unidades, ésto puede realizarse aplicado la heurística "tick-off".

Los resultados directamente heurísticos desde la evaluación objetivo para el mínimo número de unidades se basa en la ecuación:

$$U_{\min.} = N-1 \dots \dots (1)$$

La ecuación es satisfecha si cada igualdad lleva una corriente de la temperatura objetivo o agotar un servicio.

Los intercambiadores limite pueden usualmente ser corrientes de "tick-off" para cada carga de enfriamiento del intercambiador para igualar las pequeñas cargas de calor de dos corrientes iguales.

El método de diseño limite emplea la heurística de corrientes "tick-off" para favorecer completamente al procedimiento para la aplicación del operario y él dirigir el diseño alrededor del mínimo número de unidades compatibles con la mínima energía.

La heurística no puede interferir con la capacidad o habilidad del método para identificar igualdades vitales y opciones accesibles a el limite compatible con un diseño mínimo de servicios.

RESUMEN DEL METODO DE DISEÑO

El método de diseño incorpora cinco etapas importantes. Estas son:

- 1.- El problema de la red de intercambio de calor (HEN) esta dividida en problemas separados del limite.
- 2.- El diseño para separar estos problemas es partiendo en el limite y desarrollando movimientos lejos del mismo.
- 3.- Cuando las opciones existentes del Limite son determinadas usando la heurística "tick-off" de la corriente.

4.- Lejos del límite hay generalmente una "libre elección" de igualdades.

Además de los puntos anteriores, se contempla lo siguiente:

Simplificación del diseño mínimo de servicios. - Esta puede estar generalmente al alcance del diseñador para simplificar el diseño mínimo de servicios para una reducción controlada en el número de unidades, por transferencia de calor a través del límite y por ende en el decremento del uso de servicios y del capital.

Con objeto de lograr una reducción controlada en el número de unidades es importante comprender los conceptos de recarga de calor y líneas de carga de calor.

Recargas de calor. - Siempre que en un aspecto de diseño el número mínimo de unidades para el problema total es mayor y el límite es desconocido, es debido a la existencia de recargas de calor.

Estas fueron primero establecidas como una observación de Hohmann quien también indujo el término "recarga de calor" (Heat Load Loop). Después, esta fue confirmada por Linnhoff, basado en el Teorema de Redes de Euler. Estas recargas de calor pueden ser una retroalimentación o "loop" para cada unidad extra.

Un aspecto importante de cada retroalimentación es que las cargas de calor pueden ir cambiando alrededor de la retroalimentación de una unidad a otra. La carga es sustraída de una unidad y adicionada a la siguiente entrada de la retroalimentación, sustraída desde el siguiente y así en derredor del proceso. Este cambio de carga siempre mantiene la correcta corriente de cargas de calor excepto el intercambio, debe estar cambiando y puede causar una

violación de ΔT_{\min} . Sin embargo, la conducción de fuerzas puede ser "restaurada" usando líneas de calor (En la fig.8, se observa la retroalimentación de más de dos unidades que determinan el mínimo).

Líneas de calor. - Una línea de calor es una conexión continua en la red entre un calentador, intercambiadores de calor y un enfriador (la fig.9 muestra la más sencilla forma de una línea).

Los cambios de carga alrededor de la línea siguen reglas equivalentes a los cambios de carga alrededor de una retroalimentación. La carga es adicionada a un calentador, sustraído desde el siguiente, y así a lo largo de la línea hasta estar finalmente adicionado a un enfriador.

Esto es importante para diferenciar entre la eliminación del uso de unidades de retroalimentación de carga de calor y líneas, y el simple reemplazo de unidades para calentadores y enfriadores.

Por otra parte, esta consideración es acentuada en el ΔT_{\min} restringido no pudiendo ser una carga después de cambiar alrededor de una retroalimentación.

Aunque una violación al ΔT_{\min} ocurra en la red es termodinámicamente viable.

Se puede ahora resumir esta sección como sigue:

- * La existencia de espacio para reducir el número de unidades en un problema limitado comenzando por un diseño mínimo de servicios.
- * Esta reducción en el número de unidades puede ser realizada de una manera controlada.

FIGURA No. 8 Y 9

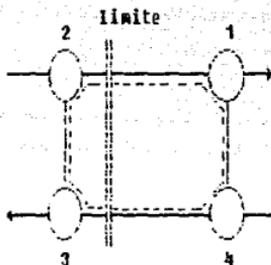


figura 8. un sistema de diseño mínimo con retroalimentación

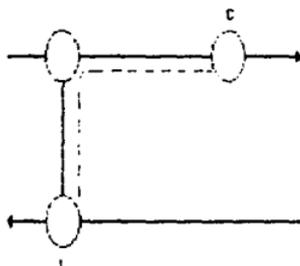


figura 9. identificación de un sistema en línea

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

- * No en todas las unidades existe una adecuada retroalimentación o línea adecuadamente grande. De este modo, el procedimiento no puede ser aplicable, y a su vez, no puede ser aplicable para la eliminación de tales unidades.
- * Hay un valor óptimo del incremento de servicios el cual establece el correcto cambio entre costos de servicios y costos de capital.
- * Este valor óptimo coincide aproximadamente con el ΔT_{\min} , el cual es incrementado para ser estabilizado y optimizado.

Cambio de ΔT_{\min} . - Considerando la fig. 10 la cual muestra cualitativamente la variación anualizada del costo de capital y el costo anual de servicios con variación del ΔT_{\min} . Óviamente cuando el ΔT_{\min} es igual a cero la red de intercambio de calor tiene un costo infinito, como infinita la superficie del área de intercambio requerida. El uso de servicio y de aquí los costos de servicio están a un mínimo. Como el ΔT_{\min} es incrementado, el costo de capital de la red inicialmente disminuye severamente debido a muy altos valores de ΔT_{\min} . Los costos de servicios se incrementan constantemente con el incremento del ΔT_{\min} .

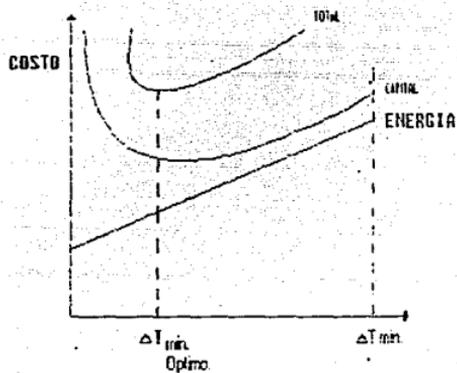
El método de diseño Límite produce con un grado evidentemente alto soluciones con bajos costos, para producir el diseño de servicios mínimos, como son algunas unidades compatibles con el uso de servicios mínimos.

Por lo tanto, el método es simple e íntegro, ya que es posible la producción de tales diseños para problemas grandes de manera rápida y fácil. El método incorpora fundamentalmente de dos elementos:

1.- El método reconoce que el diseño no es la identificación casi "rigurosa" de una topología óptima de costos -Después de todo, se procede con diseño preliminar- uno para el cual es seguro y controlable. El llevar acabo éste, el método informa al diseñador cuando las opciones topológicas existen. Para discriminar entre estas opciones el diseñador puede dirigir su diseño a los alrededores, prácticas topológicas y controlables, usando su juicio y conocimiento del proceso.

2.- El método reconoce la importancia fundamental del límite en las redes de intercambio de calor. En el límite la alternativa de igualdades es severamente restringida. Frecuentemente hay sólo una elección, una igualdad vital, la cual si se hace penalizar al diseño para incrementar el uso de servicios arriba del mismo. De este modo, el diseño debe ser comenzando del límite y desarrollándose, hacia fuera del mismo. (Esta realización es un conocimiento completamente nuevo en el diseño HEN y las direcciones son resumidas en las figs. 6 y 7, y formar la base del actual procedimiento).

FIGURA No. 10



Costo de la Red como una función de T_{min} .

CAPITULO No. 5

ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

SISTEMAS EXPERTOS

Los sistemas expertos han tenido un mayor auge después que los japoneses iniciarán el proyecto: "computadoras de la quinta generación" en 1982. La finalidad es la de desarrollar el hardware y software considerando el uso de computadoras en diversas actividades complejas.

Los sistemas convencionales de computación ejecutan programas que codifican algoritmos y transforman los datos de entrada en salida de resultados. Esto tiene enorme impacto; virtualmente, dentro de todas las áreas donde los problemas pueden ser representados en forma de datos procesados. Sin embargo, cada programa es aplicado únicamente a una misma clase limitada de problemas dentro de un dominio particular. Además, el conocimiento y experiencia del experto, usados para establecer la codificación del algoritmo en el programa no es claro, de ahí que éste no pueda ser fácilmente extraído para ayudar a solucionar el enorme número de problemas similares a los cuales es aplicable.

La teoría, describe el aspecto de una planta o proceso con aportaciones reales de sus propios autores, por lo que los ingenieros tienden a confiar en sus propios conocimientos cuando operan o diseñan plantas actuales o de prueba para solucionar los problemas de ésta.

El procedimiento tradicional es el de equivocarse y aprender a no repetir los errores (de operación, administración, mantenimiento, etc.); o afrontar nuevos problemas y realizar pruebas y errores aprendiendo la solución del mismo. Desafortunadamente, esto es muy lento y costoso.

En 1980 los japoneses anunciaron: "el proyecto de computación de la quinta generación (5G)", en el cual participan ocho de las principales empresas en electrónica japonesas, con la finalidad de establecer en 1990 la tecnología para:

- 1.- Mejorar la productividad en las áreas de baja producción, servicios industriales, transporte y manufactura textil.
- 2.- Mejorar la eficiencia de recursos y la utilización de energía.
- 3.- Proporcionar sistemas de soporte para soluciones de problemas complejos de fases múltiples, en medicina y educación.

Para ello es necesario el desarrollo de hardware, a escala de integración muy grande (Very Large Scale Integration VLSI), procesadores multiparalelos y sistemas software, necesarios para la solución de dichos problemas. Este software puede incluir conceptos de inteligencia artificial (I.A.), soporte de almacenaje, recuperación y manejo de "bases del conocimiento" (todos ellos términos de sistemas expertos). Esto es considerado como la ingeniería e implementación de parte de la ciencia de I.A.

Por esto, el sistema experto, puede ser un mejor camino para aportar experiencia dentro del proceso.

El sistema experto es un programa de computadora que puede ser aplicado en la instalación de reglas de operación, investigación, desarrollo tecnológico, etc. Estos Tienen un sistema que ayuda al ingeniero de menor experiencia a continuar una tarea difícil.

Los sistemas expertos para ingenieros son aún pocos en número y muy limitados de capacidad, pero esto está cambiando prometedoramente.

En la década pasada, los investigadores de I.A. han preferido basarse en el conocimiento no guiado, investigando para ello

"técnicas de lógica computacional" para la solución del problema. Estas técnicas se usaron para resolver problemas elementales, o bien, problemas perfectamente estructurados tales como juegos o pasatiempos. Sin embargo, los problemas reales y complejos son preparados para tener las características que se buscan y extenderse exponencialmente con el número de parámetros involucrados. Para tales problemas, las técnicas tradicionales han demostrado ser inadecuadas, por lo que sería necesaria una nueva aproximación.

La tecnología resultante de los sistemas expertos, estuvo limitada a laboratorios académicos en la década de los 70's, ahora esta tecnología es conveniente y comienza a entrar al campo de las aplicaciones.

Feigenbaum, un pionero en sistemas expertos estableció: "Un sistema experto es un programa inteligente de computadora que usa conocimientos e inferencias de procedimientos para resolver problemas que son lo bastante difíciles que requieran experiencia humana para su solución."

El nivel de ejecución de un sistema experto es una función del tamaño y calidad del conocimiento base que éste posee.

Un humano con "dominio experto" usualmente colabora para ayudar al desarrollo de la base del conocimiento, otras veces el sistema puede ser desarrollado, adicionalmente a la solución de los problemas, y también para instruir a otros en el desarrollo de su propia experiencia.

Es deseable, aún cuando no es común tener un lenguaje usuario-amigable natural de interfase que facilite el uso del sistema total en sus tres modos, a saber:

- * Desarrollo.
- * Solución del problema.
- * Instrucción.

Así mismo se sabe que un sistema experto se distingue de los más diversos e importantes programas convencionales de computadora. En este punto, otro investigador en sistemas expertos: Duda, observó que, en un sistema experto: "Hay una clara separación del conocimiento general acerca del problema -Las reglas que forman una base del conocimiento-, la información acerca del problema -la entrada de datos- y los métodos para aplicar el conocimiento general al problema -La regla interpretativa-. En un programa convencional de computadora, el conocimiento adecuado del problema y los métodos para utilizar este conocimiento son todos interpolados, así que es difícil de modificar el programa".

En un sistema experto, "El programa en sí mismo es solamente un intérprete -o un mecanismo de razonamiento general- e idealmente el sistema puede ser cambiado por simple adición o sustracción de reglas en la base del conocimiento".

Ahora bien, que es un sistema experto: "Los sistemas expertos son problemas-soluciones computarizados que contienen un cuerpo del conocimiento en algunas áreas específicas, este conocimiento puede ser usado para inducir conclusiones que imiten el razonamiento humano".

En general, un sistema experto tiene dos partes diferentes:

- 1.- La base del conocimiento.- Establece las reglas (usualmente del tipo IF-THEN) que representan mejor la experiencia en la especificación del Dominio.
- 2.- La inducción del ingenio.- Es el medio para aplicar las reglas que imiten el razonamiento. En términos prácticos, este medio es un programa de computadora que pueda ordenar las reglas y el trabajo continuo de estos en un orden lógico.

El sistema puede también tener ciertos atributos:

1.- Separación de reglas para el razonamiento.- Las reglas que inducen al ingenio pueden ser distintas y separadas, de tal modo que las reglas puedan ser fácilmente cambiadas, y la inducción del ingenio pueda ser aplicando a otras reglas base.

2.- Transparencia de razonamiento.- El sistema experto puede ser transparente para el usuario, manifestando éste un razonamiento como un Humano Experto.

3.- Razonamiento indeterminado.- El razonamiento ingenieril es frecuentemente una materia de grados, y acontecimientos o hechos cuidados por ser imprecisos ya que se debe de recordar que este tipo de profesionista no sólo maneja el lenguaje técnico a aplicar como base de conocimiento, sino que también hace uso de terminologías las cuales se pueden denominar "argot ingenieril", que al ser aplicadas definen una parte o una causa en forma breve; términos tales como: "alto", "OK", y "Bajo", pueden tener mayor significado para un experto que el actual lenguaje técnico establecido. Así, si un sistema experto esta imitando el razonamiento Humano, este debe ser capaz de distribuir datos indeterminados.

Un sistema experto es igual que:

- * El manejo del mundo real, problemas complejos que requieren una interpretación experta.
- * Las soluciones de estos problemas usan un modelo de computadora-razonamiento elaborado por experiencia humana, alcanzando las mismas conclusiones que los expertos humanos pueden alcanzar si se enfrentan con un problema comparable.

Los expertos son gente que en la solución específica de los

problemas son muy buenos. Su habilidad usualmente llega a ser de amplia experiencia, y conocimiento detalladamente especializado en los problemas que ellos manejan.

Una base de computo de sistema experto, busca la captura de suficiente conocimiento humano especializado, de modo que éste resuelva los problemas pericialmente. En los diez años anteriores, varios grupos de investigación en I.A. han construido sistemas altamente especializados que contienen la experiencia necesaria para resolver los problemas del tipo:

- * Diagnóstico médico y tratamiento.
- * Análisis de la estructura química.
- * Exploración geológica.
- * Selección de la configuración computarizada.
- * Falla de diagnóstico computarizado.
- * Mezcla de otros.

CONSTRUCCION DE UN SISTEMA EXPERTO

Para la construcción de un sistema experto, se deberá de contar con los siguientes prerrequisitos que deberán ser sastifechos:

- * El sistema experto debe de tener un mínimo de conocimiento humano experto (esto es experiencia) para realizar la tarea.
- * La causa primaria de la excepcional realización del experto debe de ser un conocimiento especial, juicio y experiencia.
- * El experto debe ser capaz de explicar el conocimiento especial, la experiencia humana y el uso de métodos, para la aplicación de estos a los problemas particulares.

- * La tarea debe tomar un dominio de estudio limitado de aplicación.

Usando las presentes técnicas, e instrumentos de programación, el esfuerzo requerido para el desarrollo de grandes sistemas expertos se convierte de años-hombre, a sistema prototipo inicial, frecuentemente aprovechable en menos de dos meses.

Dentro de las razones más obvias para la elaboración de un sistema experto se encuentran:

- * La disminución de costosas experiencias; y
- * el más efectivo y eficiente uso de la experiencia humana.

Se observa que desde un punto de vista científico, la razón más importante es la formalización y clarificación del conocimiento que resulta de tener la experiencia humana que hace su razonamiento explícito.

Los humanos expertos, tales como médicos, analistas, e ingenieros especialistas, tienen según el estado actual de la tecnología, métodos, basados en su experiencia, para solucionar problemas difíciles de especificar. Ellos raramente abstraen sus métodos de razonamiento y el como describirlos sistemáticamente, además de cuando y donde estos pueden ser aplicados.

En la construcción de sistemas expertos, se fomenta al humano experto a realizar una demostración de su experiencia práctica (prueba y error), de tal forma que está pueda ser reproducida y probada por otros humanos más allá de los confines de su círculo inmediato.

Otras razones para la construcción de sistemas expertos son la posibilidad de combinar la experiencia humana dentro de una base del conocimiento de expertos que pueden emerger en el camino, el cual es nuevo y diferente. Por ello, se deben de desarrollar nuevos métodos para la comparación del razonamiento experto.

Una de las facetas de esto, es el de mejorar la clase de vida, previniendo los malos funcionamientos y proponer que las soluciones sean todas valiosos objetivos de los sistemas expertos. Sin embargo, se debe de preguntar acerca del costo a realizar, y si hay caminos alternativos para la distribución de la experiencia de conocimientos humanos. En forma más amplia, se debe de preguntar si un sistema experto es probable de ser buscado correctamente y si el potencial por el abuso de éste puede de alguna forma ser peor que la completa falta del mismo.

Hasta los 80's muchos sistemas expertos fueron prototipos desarrollados como proyectos de demostración puestos en movimiento en grandes y costosos aparatos, subvencionados por donativos de los gobiernos. Con el advenimiento de los microprocesadores y estaciones de trabajo personales, los sistemas expertos pueden aplicarse en estos y el costo de memoria y almacenaje hace posible el proveer algunas de las más ambiciosas bases de conocimiento útiles para su construcción y prueba.

De este modo, no se puede esperar que los sistemas expertos reemplacen completamente a los humanos en muchas aplicaciones. Los sistemas expertos más bien pueden servir como un interactivo inteligente de soluciones a problemas y sistemas consultivos que aumenten las capacidades del usuario.

BASE DEL CONOCIMIENTO

La representación estratégica del conocimiento es un método por el cual el interés del dominio del conocimiento es almacenado dentro de dispositivos de cómputo como base de este. La estrategia de control es el método usado para hacer inferencias acerca del conocimiento contenido en dicha base.

El diseño de un sistema que, dadas unas ecuaciones diferenciales parciales y condiciones asociadas las establezca alrededor de la razón, diseñe, genere y ejecute un programa numérico que resuelva el problema dentro de algún dominio físico específico.

Un análisis muy detallado del problema revela que muchas funcionalidades son necesarias. Un pequeño ordenamiento de estas incluye la habilidad para:

- * Representar la ecuaciones y condiciones de una manera comprensible para el sistema.
- * Identificación de características específicas acerca del problema y ecuaciones.
- * Manipulación simbólica de las ecuaciones basado en las reglas del álgebra.
- * Tener acceso a un lenguaje que es requerido para completar el método numérico.

El desarrollo de "sistemas de conocimiento base", necesita no ser complicado, pero la identificación de necesidades en las tareas debe de ser perfecta ya que es importante en la solución y buen éxito del programa en el cual se trabaja.

Los sistemas base del conocimiento pueden ser más versátiles, desempeñando cálculos generales simbólicos o numéricos. Este aspecto es especialmente deseable en muchos campos de la

ingeniería. Estos "no argumentos" o procedimientos de acción pueden basarse en argumentos desarrollados involucrando conocimientos que están contenidos dentro del sistema. Los sistemas del conocimiento base utilizan ambos cálculos: simbólicos y numéricos, los cuales son algunas veces referidos como "sistemas acoplados".

ESTRUCTURA DEL CONOCIMIENTO Y RAZONAMIENTO EN SISTEMAS EXPERTOS

En particular, se pueden procurar algunas generalizaciones acerca de la estructura y de las formas de razonamiento que en ellos participan:

- * La conclusión o informe debe ser generado por el sistema desde un límite distinto establecido y a partir de elementos pre-especificables.
- * Observación real o datos acerca del problema debido a la precisión obtenida por el usuario del sistema o por el mismo sistema.
- * Las suposiciones iniciales deben limitar el problema a un área de alta especialización, con la cual encaminar el razonamiento.
- * Una base de conocimiento, relaciones estructuradas y reglas de razonamiento, deben de ser aprovechables en el balance de la evidencia acerca del problema de las conclusiones.

Estas son regla-base lógicas o probabilísticas asociadas.

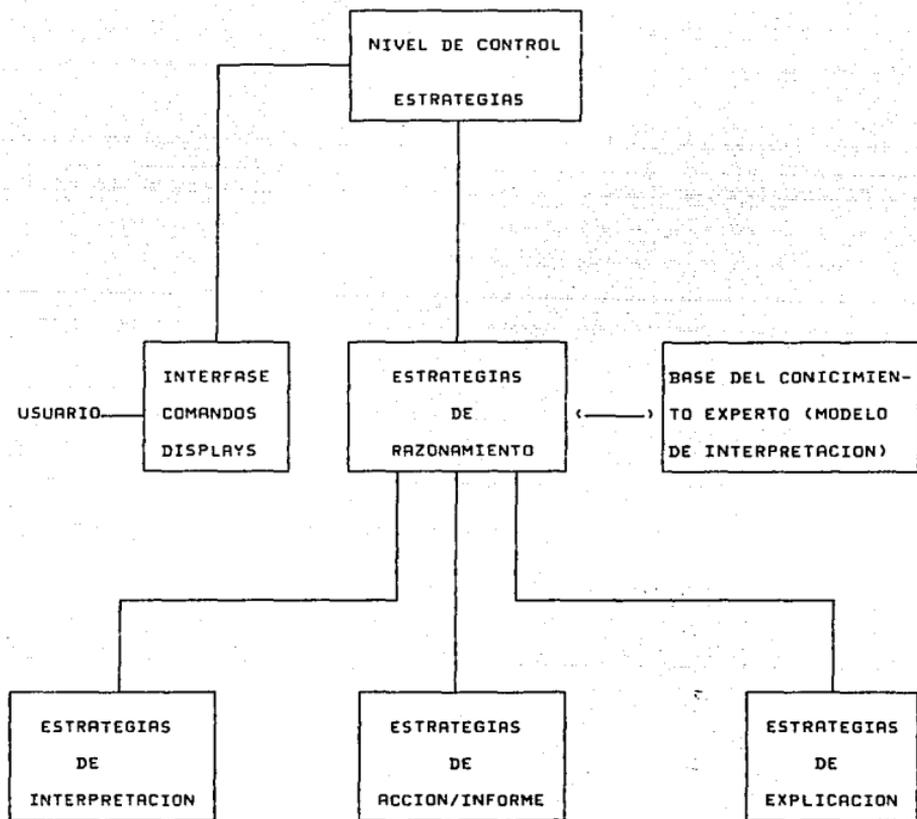
Debe ser diseñada una estrategia de razonamiento de control

capaz de guiar al sistema y hacerlo a parte correspondiente de secuencias de respuestas aceptables para los usuarios. Por ejemplo, es usual para un experto, interrumpir la solución de un problema y preuntar para adicionar datos si es necesario. Un sistema experto debe saber como reconocer o distinguir cuando es esto, y justo igual a un humano debe dar este razonamiento. Si algunos datos son inaprovechables, el Sistema Experto debe ser capaz de probar métodos alternativos disponibles diferentes.

El diagrama (esquema I-A) muestra los componentes de un sistema experto y los puntos como el problema-solución pueden ser examinados como un flujo de razonamiento que va desde la evidencia hasta las conclusiones.

El objetivo es avanzar con el apropiado informe o conclusión para un caso particular. Mucha de la destreza de los expertos esta apoyada en su habilidad para limitar a lo largo del campo las posibles soluciones con cada pieza adicionada a la que esta admitida. En el mismo camino, un sistema experto con una prueba modelo de razonamiento bien diseñada puede ser usada en muestras diferentes de modelos de prueba, combinando estos modelos dentro de hipótesis intermedias acerca de conclusiones parciales según la cual el resultado final puede ser eventualmente deducida.

Este diagnóstico o interpretación de modelos de razonamiento experto difieren substancialmente de aquellos juegos de entretenimiento o de diseño de problemas donde la selección de la hipótesis es grande y frecuentemente es difícil de limitarla a un número pequeño.



ESQUEMA I-A

REPRESENTACION DE ESTRATEGIAS EN EL CONOCIMIENTO

Un interés principal en el desarrollo de un sistema base del conocimiento es la estructuración y codificación del dominio del conocimiento. Esto implica determinar la representación del modelo más simple y más apropiado de infundir toda la interrelación básica e interdependencia del dominio de objetos, conceptos y situaciones que surgen a lo largo del dominio del conocimiento.

El conocimiento es generalmente dividido dentro de dos grandes categorías generales:

Conocimiento superficial o conocimiento heurístico. El conocimiento superficial o heurístico está basado en asociaciones hechas frecuentemente de observaciones. "las heurísticas" son muchos más privadas, son pequeñas reglas discutidas de buen criterio -reglas de razonamiento plausible, reglas de buena conjeturación- que caracteriza el nivel experto de decisión tomado o realizado en el campo.

Conocimiento profundo o conocimiento de modelo-base o de hechos reales. El conocimiento profundo o modelo-base es el conocimiento que está basado en una afirmación teórica comprensiva del fenómeno. Los "hechos reales", constituyen un cuerpo de información que es públicamente muy compartido y accesible, y generalmente reconocido por encima de expertos en el campo.

Se han efectuado multitud trabajos para definir la mejor metodología para representar el conocimiento normal en una computadora. Diversas y diferentes metodologías de organización y representación del conocimiento pueden ser desarrolladas y usadas con buen éxito en varios tipos de solución del problema.

La aproximación más popular para representar el dominio del conocimiento -ambos hechos reales y heurísticos- necesita de un sistema experto para la producción de reglas- también referidas como "reglas de situación-acción" o reglas "IF-THEN"- . De este modo, muchas veces una base de conocimiento es hecha totalmente con la mayoría de las reglas que son necesarias para tales modelos, con los aspectos que comúnmente aparecen en la base global de datos.

En un sistema experto, el paradigma de la solución del problema será la elección de la organización y medidas de control tomadas para la solución del problema. Una común, pero poderosa, aproximación implica una serie de reglas IF-THEN para formar una línea de razonamiento. Las reglas son modificadas en la base global de datos por modelos (los cuales dependen de la estrategia, una semejantes de la otra, el IF o el THEN del lado de las reglas).

La aplicación de la regla modificada, el estado del sistema y por consiguiente la base de datos, permiten el uso de reglas e incapacitan otras. El interprete de la regla, usa una estrategia de control para decidir las reglas habilitadas para la decisión de cuales de las reglas habilitadas son capaces de aplicarse.

Las estrategias básicas de control usadas pueden ser: manejo-global (top-down), manejo-de-datos (botton-up), o una combinación de las dos, con el uso de procesos de convergencia de relajación análoga, estas líneas opuestas de razonamiento junto con algunos puntos intermedios proporcionan una solución del problema. Sin embargo, todas las heurísticas de búsqueda y técnicas de resolución del problema que la comunidad de inteligencia artificial a tenido que inventar o diseñar han aparecido en los diversos sistemas expertos.

El uso de los sistemas expertos esta virtualmente limitado. Ellos pueden ser usados para: diagnóstico, reparación, monitoreo, análisis, interpretación, consulta, planeación, diseño, expansión, aprendizaje y conceptualización.

Existen diversos métodos alternativos de representación del conocimiento, dos de las técnicas mas comunes son:

- * redes semánticas. Una red semántica es una red de objetos, conceptos o situaciones las cuales representan la correspondiente relación.

- * redes de construcción o formas. Una red de forma o construcción es una representación estereotípica de un objeto que contiene canales que pueden ser llenados por cada suceso del objeto. Los canales representan las características de un objeto que son llenados con las características particulares que lo hacen único.

ESTRATEGIAS DE CONTROL

Las estrategias de control son aquellas que determinan el orden en al cual se deberán realizar las operaciones. Esto usualmente involucra buscar la base del conocimiento de los hechos y reglas en un intento por hacer inferencias basadas en la habilidad del conocimiento. De manera análoga a las técnicas de representación del conocimiento, hay estrategias de control más adecuadas para ciertos tipos de problemas. Una estrategia de control es una parte de nivel meta del conocimiento, puesto que éste conocimiento es el que hace que las razones acerca de otro conocimiento sean incluidas dentro del sistema.

El encadenamiento hacia atrás es un método de razonamiento objetivo el cual es probado para ser verdadero repetidamente y probar si los subobjetivos son verdaderos. El proceso termina cuando los hechos son descubiertos e indican que estos son verdaderos, o el conocimiento base de referencia buscado resulta ser totalmente un fracaso. En esencia, el trabajo se realiza de forma regresiva. El tipo de mecanismo que involucra nuevos subobjetivos es llamado objetivo directo.

El encadenamiento hacia adelante es complementario del encadenamiento hacia atrás. Este es un método de razonamiento donde el proceso inicia conociendo los hechos y prosigue ensayando la generación de nuevos hechos para comparar con reglas semejantes reglas contenidas en la base del conocimiento. El proceso termina cuando el objetivo deseado ha sido determinado, o toda la base del conocimiento buscada resulta ser un fracaso. Este tipo de exhortación involucrado aquí es llamado: "hechos directos".

La parte interior primaria buscada con encadenamiento hacia atrás involucra mandar los subobjetivos de un objetivo tan pronto como estos sean generados.

De esta manera el sistema prosigue dentro de estas líneas de razonamiento al frente probando cualquier alternativa. La búsqueda de estrategias que pueden también ser acompañados por una función que indique la mejor elección siguiente de búsqueda de dirección en base a alguna función indicada. Una implementación óptima de primera es la búsqueda en la agenda (la agenda es una lista de tareas contenidas por el sistema de conocimiento base para ser realizado).

APLICACION DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Los sistemas expertos pueden ser aplicados en muchos campos, sin embargo, aplicaciones en ingeniería bien publicadas son raras.

Tres sistemas muy conocidos son en química, medicina y geología:

- * DENDRAL, desarrollado en la universidad de Stanford, identifica la estructura compleja de compuestos orgánicos.
- * MYCIN, de la universidad de Stanford, ayuda a diagnosticar la sangre e infecciones meningéas.
- * PROSPECTOR, desarrollado por SRI international, ayuda a evaluar el potencial de un sitio de minerales.

El diagnóstico de fallas de operación o diseño, es otra aplicación principal:

- * DELTA/CATS desarrollado por General Electric Corp, diagnostica problemas de las locomotoras.
- * ALLX, de Intelligent Terminals Ltd., diagnóstica las causas de paros automáticos en plataformas petroleras de producción.
- * CRIBI, de International Computers Ltd. diagnóstica las fallas en hardware y software en la computadora.

También en ingeniería y control:

- * SACON, de Stanford, ayuda a estructurar usando un paquete de elementos finitos computarizados.

* ESCORT, de Pactel, es un sistema de control asesor para la operación de plataformas de producción de petróleo.

Las aplicaciones de sistemas expertos en ingeniería química no son bien conocidas, pero hay algunos particulares:

1.- Selección de procesos y síntesis de diagramas de flujo. Una tarea dada puede ser frecuentemente efectuada por diferentes procesos, y la elección de ellos depende de los resultados tales como materias primas, calidad del producto, medios restringidos y costos de capital. Si la tarea es frecuentemente satisfecha, pero no demasiado compleja, esta es práctica para ser desarrollada en un sistema experto que solicite las propias preguntas y guíe la decisión.

Para algunas operaciones, tales como transferencia de calor, hay programas de computadora que pueden ayudar a determinar el arreglo u ordenamiento óptimo, no obstante si el sistema experto no puede hacer la decisión actual, este puede ser ayudado a decidir que alternativas va a probar. Por ejemplo, un sistema experto puede servir como una herramienta final para un programa de diagrama de flujo de proceso.

2.- Control de procesos. El conocimiento de los operadores técnicos y expertos pueden ser almacenados por algún computador. La experiencia operacional puede ser trasladada dentro de un sistema consultivo que pueda ayudar a cualquier operador a reconocer que tipo de acontecimiento ocurre en la planta y transformar o traducir la información dentro de la acción de control. Esto es valioso en la mayoría de los procesos que son controlados manualmente y aquellos que requieren frecuentemente interacción con el operador del sistema de control. Mientras que para la instrumentación, hay actualmente controladores expertos de procesos que pueden ajustarse ellos mismos, y admitir niveles seguros de modelos de respuesta.

3.- Diagnóstico de fallas. La localización de fallas es usualmente muy sistemática, y por lo tanto, esto es muy bien solicitado para computarización. Hay también una necesidad para tales sistemas, porque las fallas ocurren frecuentemente cuando no hay ingeniero alrededor de donde se encuentran estas.

FORMALIZACION DEL CONOCIMIENTO EXPERTO

Los adelantos del conocimiento científico implican el como trabajar con la naturaleza. Los expertos muchas veces trabajan en áreas donde nuestro conocimiento científico se retrasa en relación al conocimiento práctico o empírico del como hacer que la naturaleza aplique el deseo del hombre.

En la formalización del conocimiento experto se plantea como poder solucionar problemas difíciles con el mejor conocimiento de hoy.

Tan pronto como hay presentaciones formalizadas que permiten a una computadora ser capaz de reproducir el resultado del razonamiento humano, se puede experimentar y ver bajo que circunstancias estas afirmaciones son aplicables (muchos manuales no pueden contener la experiencia y decisión de hechos, que describan el conocimiento).

Los programas de computadora pueden simular y hacer pruebas de decisión-acción, donde en un texto pueden estar los hechos que entran dentro de la decisión-acción, un procedimiento de computadora puede dar la verdad fuera de los innumerables caminos en los cuales los hechos pueden ser combinados para producir los resultados del razonamiento humano. El sistema experto puede ser propiamente un instrumento empírico para experimentación con la representación y usos del conocimiento.

INTEGRACION A DIVERSAS FUENTES DEL CONOCIMIENTO

En cualquier área dada de estudio hay muchos expertos diferentes.

Frecuentemente con opiniones diversas en solucionar sus problemas. Los sistemas expertos son ser capaces de ayudar a comparar y dictaminar las alternativas, porque ello requiere expertos para usar una formalización consistente de conocimiento en la captura de las reglas del razonamiento.

Los sistemas expertos antes de ahora han sido usados como vehículos para resumir y sintetizar la experiencia de varias fuentes en una especialidad.

Como un humano experto, el punto de referencia de cualquier sistema experto es la buena realización, y un conocimiento experto que hace el trabajo propio en casos de problemas complejos reales, debiéndose reconsiderar su inclusión dentro de una base de conocimiento compartida.

Como en el mundo real, no se puede encontrar desacuerdo en las inspecciones expertas. Si estas inspecciones resultan con substanciales diferencias en las conclusiones, esto se vuelve un punto importante fuera de la calidad del sistema experto, e indica que hay desacuerdo entre los expertos (humanos); además, ofrece alternativas.

Uno de los saltos de los investigadores en I.A. ha sido que estas diferencias sean reconsiderables en términos de un modelo profundo de los procesos fundamentales los cuales pueden describir el dominio. Un sistema experto similar a un humano experto, no puede proporcionar fórmulas prácticas desconocidas que puedan solucionar un problema, justo porque nuestra inteligencia es incompleta.

EL PROCESO DE CONSTRUCCION DEL SISTEMA EXPERTO

Un experto puede tener diferentes tipos de información para proporcionar la construcción de un modelo de razonamiento experto:

- * Experiencia personal acerca de la solución de problemas.
- * Experiencia personal acerca de modelos para la solución de problemas.
- * Conocimiento personal acerca de las causas para la elección de los métodos usados.

La experiencia humana en la relación individual de un problema con reglas abstractas, es raramente una tarea fácil para los humanos expertos. Muchas veces ellos carecen de recursos para describir una experiencia de una manera sistemática, generando sólo una forma de estructura racionalizada. El adquirir una unión con una aceptación generalizada y formal de conocimiento científico es frecuentemente una verdadera dificultad.

ETAPAS DE CONSTRUCCION DE UN SISTEMA EXPERTO

Varias etapas en el desarrollo de un sistema experto pueden ser abstraídas de las experiencias. Esto representa la pauta general y no deben ser tomadas en el curso del desarrollo necesario para todos los sistemas expertos.

Las etapas de construcción de un sistema experto son:

a.- Base del conocimiento inicial de la etapa de diseño. Esta comprende tres subetapas principales:

* **DEFINICION DEL PROBLEMA:** especificación de objetivos, coacciones, recursos, participantes y sus roles.

* **CONCEPTUALIZACION:** La descripción detallada del problema con el comienzo de la reducción dentro de subproblemas; que son los elementos de cada uno, en términos de hipótesis, datos y razonamientos de conceptos intermedios; como estas conceptualizaciones afectan la posible implementación.

b.- **Representación conceptualizada del problema.** La selección específica de representación para los elementos identificados durante la primera fase de conceptualización, requiere de la implementación en computadora, asuntos de información de flujo y articulación de los conceptos y datos que pueden ser alcanzados más completamente en esta etapa.

c.-**Etapa de desarrollo y prueba del prototipo.** Una vez que la representación puede ser seleccionada, se puede comenzar a implementar el prototipo subcolocando el conocimiento necesario para todo el sistema. Los cambios de subcolocación son cruciales; estos deben incluir un ejemplo de representatividad del conocimiento que es típico de todo modelo, no obstante, este debe de involucrar subtareas y razonamientos que sean suficientemente simples de probar. Entonces esta prueba puede ser comparada con casos más complejos los cuales son usados como prueba estándar para establecer refinamientos subsecuentes de la base del conocimiento.

d.- **Refinamiento y generación del conocimiento base.** Esta etapa toma una considerable cantidad de tiempo si se espera que cada uno use los mismos niveles expertos de ejecución. Sin embargo, esto es algunas veces posible de obtener la ejecución completa y aprovechable dentro de circunscripciones después de sólo unos pocos meses de esfuerzo.

CAPITULO No. 6

CARACTERISTICAS DEL LENGUAJE, DESARROLLO DEL SISTEMA Y RESULTADOS

EL LENGUAJE PROLOG

Dentro de las características que constituyen el lenguaje prolog, se toman en cuenta las dificultades para la adquisición y transformación del conocimiento a un lenguaje de máquina.

La adquisición del conocimiento para el desarrollo de un sistema experto no es nada fácil, ya que requiere experiencia y tiempo; sin embargo, es necesario considerar que para este tipo de trabajo se tenga la herramienta necesaria y si ésta está a nuestro alcance.

Por lo tanto, el desarrollo del presente trabajo tiene como base de programación el uso del lenguaje "PROLOG".

El Prolog (PROgramming en LOGic: PROLOG), es un lenguaje de lógica orientada, desarrollado en 1973 por A. Colmeraver y P. Roussel, en el laboratorio de inteligencia artificial (I.A.) de la universidad de Marseille. Un trabajo adicional sobre prolog fue realizado en la Universidad de Edinburgh en Gran Bretaña.

El desarrollo del lenguaje prolog a continuado hasta el presente, obteniéndose versiones documentadas que pueden actualmente ser utilizadas en la mayoría de las computadoras (sobre todo en las computadoras personales).

El prolog es un sistema de "teorema-demostrado", consistente en "axiomas" basados en lógica de primer orden junto con un objetivo (un teorema que puede ser demostrado y en donde los axiomas se encuentran limitados a inferencias lógicas). Con la suma o adición de los más importantes registros de primera instancia y la construcción inversa dentro del mismo lenguaje.

La construcción inversa es una estrategia, en donde una línea de razonamiento es continuada por el sistema combinando, pudiendo ser inapropiado, esto permite señalar al conocimiento anterior encontrar una alternativa aproximada.

El lenguaje prolog también ofrece un método íntegro para realizar encadenamientos inversos o hacia atrás, aunque otras estrategias de control y esquemas de representación del conocimiento son fácilmente programadas dentro del medio.

Una ventaja del prolog es que este lenguaje se encuentra orientado hacia la "computación simbólica", permitiendo métodos amplios para manipulación simbólica.

El prolog ofrece una limitada programación comparada con otros lenguajes accesibles; para disminuir esta limitación, el lenguaje prolog está provisto de una interfase sencilla que le permite interactuar con otros lenguajes para agregarse a la generalidad de las necesidades.

El lenguaje prolog se considera una extensión del lenguaje lisp, unido con una base de datos racional para el lenguaje en la utilización de relaciones virtuales (relaciones implícitas definidas por reglas). Lo mismo que el lisp, el prolog es interactivo y usa asignación dinámica de memoria.

La ejecución del prolog es más eficiente y la versión compilada para la realización del presente trabajo es de gran demanda por ser más rápida que el Copilador lisp.

En la actualidad el prolog a adquirido una enorme popularidad en Europa, por lo que ha sido denominado como el lenguaje para la Quinta Generación de Computadoras del proyecto Japonés. Asimismo, el diseño del lenguaje prolog es solicitado para ejecutar la búsquedas en paralelo, siendo por consiguiente un excelente candidato para computadoras incorporadas a procesamiento en paralelo.

En la actualidad el lenguaje prolog esta siendo aplicado con gran interés en los Estados Unidos (con algunos aspectos de implementación en lisp); en Japon y en algunos otros países de Europa como son: Alemania, España, Francia, Inglaterra e Italia, en sus respectivos programas de desarrollo en las áreas del sector industrial e investigación.

DESARROLLO DEL SISTEMA, PARA LA PLANTA AU DE PEMEX

A continuación se presentan algunos de los aspectos desarrollados por la generación del sistema experto creado con la utilización del lenguaje prolog.

Estos aspectos forman parte de la programación desarrollada para realizar la integración de energía en la planta de dodecilbenceno de PEMEX (unidades instaladas en las refinarias: 18 de marzo, ubicada en la delegación Azcapotzalco de la ciudad de México y la otra localizada en el municipio de San Martín Texmelucán, en el estado de Puebla). programa del sistema experto, conteniendo la información y características del proceso.

E.N.E.P. * ZARAGOZA * - UNAM

*** T E S I S ***

Que presentan :

Jose Benjamin Rangel Granados.

Eduardo Reyes Diaz.

E.N.E.P. * ZARAGOZA * - UNAM

Desarrollo de un Sistema Experto

para la Integración de Energía

de la Planta de Dodecibenceno

(AU PEMEX)

Integración de Energía

M e n ú :

- . Información .
- . Análisis .
- . Salida .

Integración de Energía

Editar . . . Cargar . . . Ejecutar

.Menú Principal.

Primera FASE - Ingreso de información

- Numero de Equipos = 8

Equipo Número 1

Temperaturas : Entrada = 37.2638
: Salida = 125.1856

Primera FASE - Ingreso de información

- Numero de Equipos = 8

Equipo Número 2

Temperaturas : Entrada = 129.1457
: Salida = 33.43370

Primera FASE - Ingreso de información

Numero de Equipos = 8

Equipo Número 3

Temperaturas : Entrada = 203.6290
: Salida = 221.5847

Primera FASE - Ingreso de información

- Numero de Equipos = 8

Equipo Número 4

Temperaturas : Entrada = 152.2375
: Salida = 30.32110

Primera FASE - Ingreso de información

- Número de Equipos = 8

Equipo Número 5

Temperaturas : Entrada = 247.9405
: Salida = 246.0000

Primera FASE - Ingreso de información

- Número de Equipos = 8

Equipo Número 6

Temperaturas : Entrada = 174.9584
: Salida = 31.02540

Primera FASE - Ingreso de información

- Número de Equipos = 8

Equipo Número 7

Temperaturas : Entrada = 245.8108
: Salida = 270.0000

Primera FASE - Ingreso de información

- Número de Equipos = 8

Equipo Número 8

Temperaturas : Entrada = 245.8108
: Salida = 22.13190

Primera FASE - Ingreso de información

Equipo Número [7] Carga Térmica =3388.1633
 Flujo Másico =956.1061

Primera FASE - Ingreso de información

Equipo Número [8] Carga Térmica =25698.7069
 Flujo Másico =796.5506

Segunda FASE - Análisis de la información

- El análisis de los datos se efectuará con el siguiente valor de ΔT_{min} = 7.50
- Tomando como criterio para calcular este dato :
* El valor de la temperatura de entrada del primer equipo, restando la temperatura de salida del equipo N. entre dos y tomando su valor absoluto.

Esta Ud. de acuerdo ó desea darme ese dato (s/n) ?

---- Inicio de RESULTADOS

*** El Sistema en su primera FASE ordenó las
Corrientes de [Mayor - Menor]

247.94	246.00	245.81	174.96	152.24	129.15	33.43	31.03	30.32	22.13
270.00	245.81	221.58	203.63	125.19	37.26				

*** El proceso requiere una cantidad de: 351.68713×10^6 Kcal/hr de servicios de enfriamiento.

*** El punto crítico del sistema se encuentra entre las temperaturas de 211.13 y 203.63 grados centigrados.

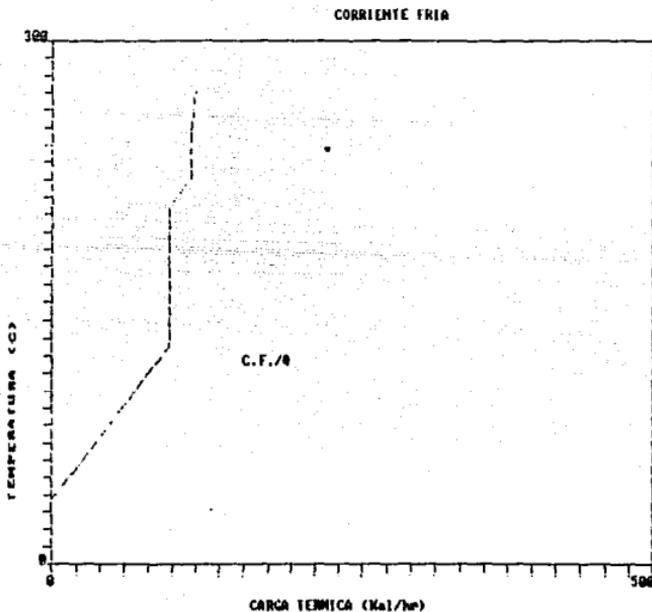
*** Corresponde al equipo No.3 este intervalo de temperaturas.

*** El equipo No.3 pertenece al sistema de enfriamiento del proceso.

*** El ahorro energético obtenido del sistema utilizando un ΔT de 7.50 grados centigrados, es de: 15.41248×10^6 Kcal/hr.

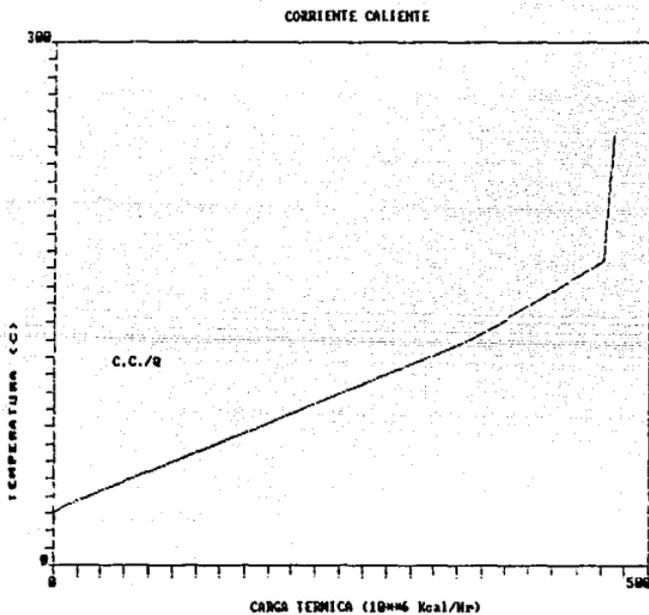
GRAFICA No.16

En la gráfica se puede observar el comportamiento que presenta la corriente caliente en relación con la temperatura requerida del proceso, este requerimiento se hace más notorio cuando la carga térmica de las corrientes calientes del proceso se encuentran dentro del intervalo de temperaturas (175°C a 247°C), en donde se obtiene un ascenso casi vertical de la temperatura.



GRAFICA No. 17

La gráfica representa el estado de las corrientes frías del proceso; en ella, se observan grandes intervalos de temperatura con pequeños incrementos de carga térmica. En esta corriente se tienen variaciones de temperatura que van desde los 270°C hasta los 37.26°C.



CAPITULO No. 7

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se observan en forma clara y precisa, las ventajas y usos múltiples que se pueden obtener de la aplicación de este tipo de tecnologías (sistemas expertos) las cuales ayudan al mejor desenvolvimiento de las labores humanas.

Como se mencionó en el capítulo referente a sistemas expertos, la utilización de la inteligencia artificial ha permitido que en las diferentes áreas de la ciencia esta herramienta sea hoy en día de uso continuo por su alto grado de precisión y ahorro de tiempo, por lo que su aplicación en un futuro cercano será indispensable, ya que por su estructura permite que el conocimiento adquirido durante el transcurso del tiempo por los "expertos" no se pierda por la desaparición de estos.

Por lo tanto, el principal objetivo de los sistemas expertos es el de acumular y preservar la experiencia y conocimientos generados durante el trabajo en una área específica de las ciencias, organizándose de una forma tal que cualquier humano con experiencia mínima o sin ella pueda aplicar este sistema teniendo como ventaja el ahorro de tiempo en horas-hombre, costos y calidad de la labor realizada, debido a la ausencia de un experto disponible en el ramo que se este analizando.

En el caso del presente trabajo, el sistema experto tiene la ventaja de que no sólo aplica a la planta de nuestro interés (AU PEMEX); sino, que también, este sistema puede ser aplicado a otras plantas petroquímicas, textiles, termoelectricas, etc., en donde intervenga en su proceso intercambios de energía (equipo de intercambio de calor, y servicios auxiliares).

Ahora bien, los resultados obtenidos por el sistema experto desarrollado para la planta de dodecibenceno son satisfactorios ya que en la ejecución del programa se obtuvo un ahorro energético del orden de 15.41248×10^6 Kcal/hr lo cual implica un ahorro anual de 122066.8416×10^6 Kcal/año al sistema, el cual consumía una cantidad de 367.04461×10^9 Kcal/hr o 2907.42891×10^9 Kcal/año en servicios auxiliares (calentamiento y enfriamiento).

Para obtener los valores antes señalados se partió de una diferencia mínima de temperaturas (ΔT_{min} , la cual fue calculada por el propio sistema experto). Esta representa la distancia mínima de separación de temperaturas; o bien, el acercamiento máximo de éstas en lo que se conoce como distancia crítica de separación de temperaturas, teniendo a su vez la indicación dada por el propio programa de cual sería el equipo crítico al operar el proceso bajo las nuevas especificaciones de temperatura que para el problema aquí planteado es de un ΔT_{min} de 7.50.

Si dicho proceso se opere con una diferencia de temperaturas menor a la anteriormente señalada se tendrían problemas de operación y control del proceso, si por el contrario se aumentase esta diferencia se incrementarían los gastos de energía; sin embargo, la operación y control serían menores. Por lo tanto, la diferencia de temperatura indicada por el programa, induce a una adecuada operación y control del proceso para que a su vez haya un ahorro de energía adecuado.

Como se puede observar, el futuro de los sistemas expertos es promisorio, por los múltiples adelantos y necesidades del conocimiento humano en sus diversas aplicaciones.

Actualmente estos sistemas han traído como consecuencia la necesidad de alcanzar mayores logros, abarcando el software y hardware, ya que los lenguajes hasta hoy aplicados a los

sistemas expertos se encuentran limitados en cuanto a su manejo en determinados tipos de estructuras (software), y la capacidad suficiente para su desarrollo (hardware). Puesto que este tipo de implementación comprende la capacidad humana para adquirir el conocimiento, por lo cual se comprende que con los actuales ordenadores no proveen de dicha capacidad, encontrándose en desarrollo equipos que resuelvan esta limitación (proyecto japonés referente a las computadoras de la quinta generación).

Por último se puede decir que, la aplicación de este tipo de tecnología ayuda a darle velocidad al desarrollo de los trabajos, y aplicados en particular a la ingeniería química ayudará al mejor desenvolvimiento de los sistemas expertos en la áreas de síntesis, simulación y optimización de procesos, efectuando de forma interna las reglas heurísticas, bases de datos, modelos y herramientas necesarias para la mejor aplicación a un proceso determinado al cual sean aplicados.

ANEXO I

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
Y
TABLAS DE EQUIPOS DEL PROCESO**

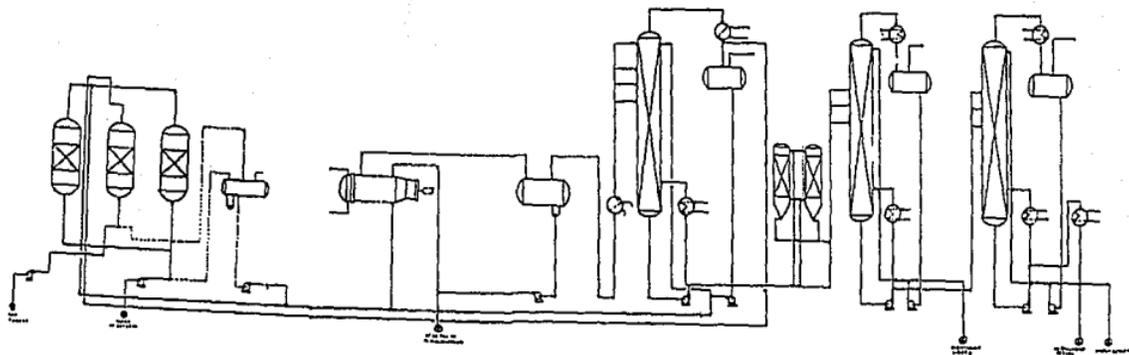


Diagrama del Proceso

BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENECNO DE PEMEX

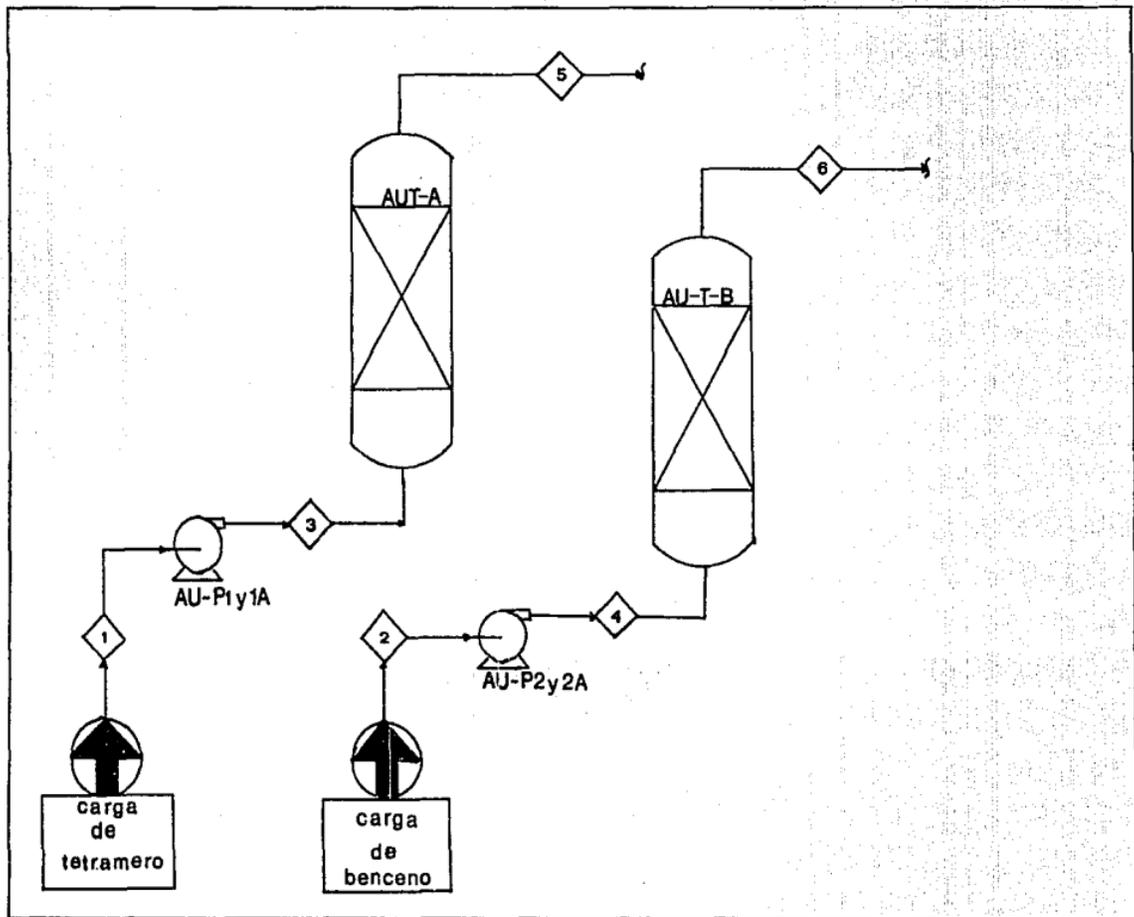
NO. DE CORRIENTE		1	2	3	4	5
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	5546.147	2993.139	5546.147	2993.139	5546.147
TETRAMERO	Lb/hr	5546.147		5546.147		5546.147
BENCENO	Lb/hr		2993.139		2993.139	
D.D.B.	Lb/hr					
A.L.L.	Lb/hr					
A.L.P.	Lb/hr					
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	35.000	30.000	37.000	37.000	37.000
PRESION	kg/cm ²	10.000	12.000	9.700	11.500	9.700
DENSIDAD	g/cm ³	0.770	0.868	0.770	0.868	0.770
P.M.	g/gmol	168.325	78.115	168.325	78.115	168.325
P.E.		0.770	0.868	0.770	0.868	0.770
CARGA TERM	kcal/hr			1628.277	3226.961	

D.D.B. = DODECIL BENECNO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.



**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENECNO DE PEMEX**

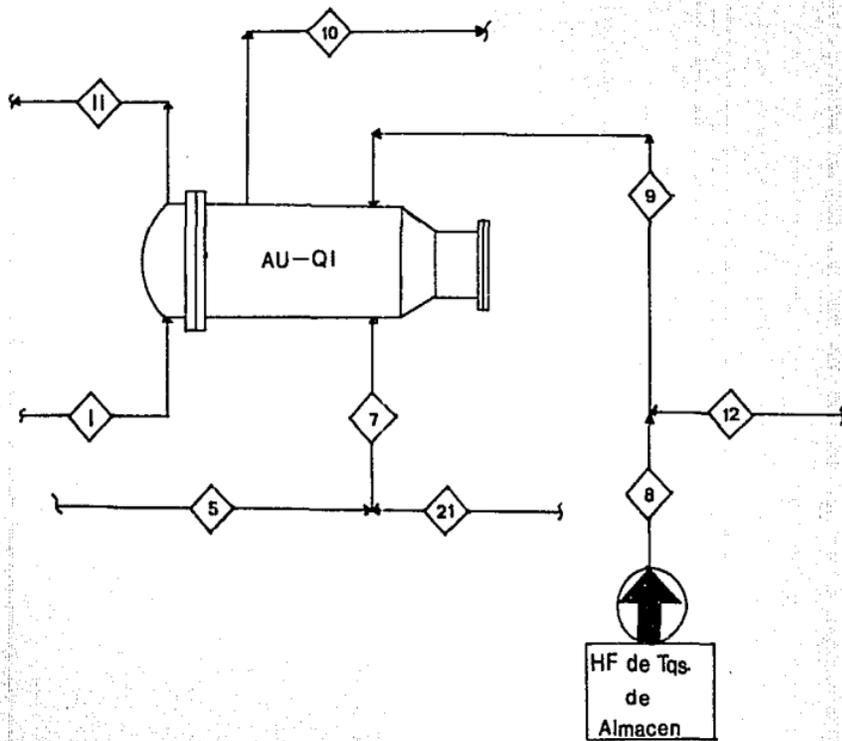
NO. DE CORRIENTE		6	7	8	9	10
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	2993.139	9287.570	693.839	9198.092	18485.652
TETRAMERO	Lb/hr		5546.147			
BENCENO	Lb/hr	2993.139	3741.424			748.285
D.D.B.	Lb/hr					6356.699
A.L.L.	Lb/hr					1385.832
A.L.P.	Lb/hr					755.899
A.S.A.	Lb/hr					40.857
HF	Lb/hr			693.839	9198.092	9198.092
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	37.000	35.000	30.000	30.000	35.000
PRESION	kg/cm2	11.500	8.000	12.000	8.000	4.000
DENSIDAD	g/cm3	0.868	0.850	0.990	0.990	
P.M.	g/gmol	78.115	131.985	19.897	19.897	124.376
P.E.		0.868	0.850	0.990	0.990	
CARGA TERM	kcal/hr		2758.702			69615.737

D.D.B. = DODECIL BENECNO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.



DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX

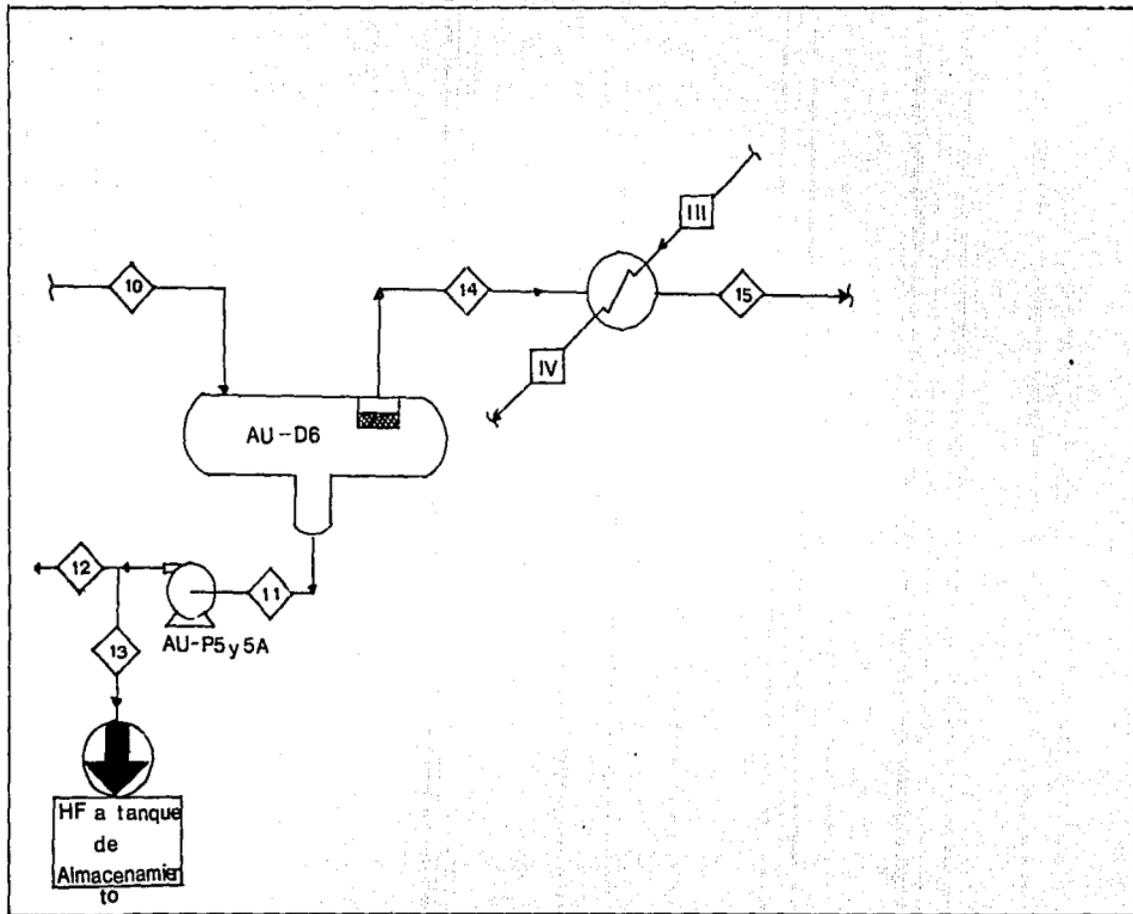
NO. DE CORRIENTE		11	12	13	14	15
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	9198.082	8504.252	693.829	9287.570	9287.570
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr				748.285	748.285
D.D.B.	Lb/hr				6356.699	6356.699
A.L.L.	Lb/hr				1385.832	1385.832
A.L.P.	Lb/hr				755.898	755.898
A.S.A.	Lb/hr				40.857	40.857
HF	Lb/hr	9198.082	8504.252	693.829		
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	30.000	30.000	30.000	30.000	128.482
PRESION	kg/cm2	8.000	8.000	8.000	3.700	2.100
DENSIDAD	g/cm3	0.990	0.990	0.990	0.868	0.868
P.M.	g/gmol	19.897	19.897	19.897	227.846	227.846
P.E.		0.990	0.990	0.990	0.868	0.868
CARGA TERM	kcal/hr					97072.718

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.



**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

NO.DE CORRIENTE		16	17	18	19	20
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	5235.000	5235.000	8228.139	8213.174	8213.174
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr	5220.035	5220.035	8213.174	8213.174	8213.174
D.D.B.	Lb/hr					
A.L.L.	Lb/hr					
A.L.P.	Lb/hr					
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr	14.966	14.966	14.966		
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	128.482	33.785	33.785	33.785	33.785
PRESION	kg/cm2	2.100	3.000	3.000	3.000	3.000
DENSIDAD	g/cm3	0.860	0.860	0.860	0.860	0.860
P.M.	g/gmol	77.897	77.897	77.897	78.115	78.115
P.E.		0.860	0.860	0.860	0.860	0.860
CARGA TERM	kcal/hr	13326.174	76565.899			

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX

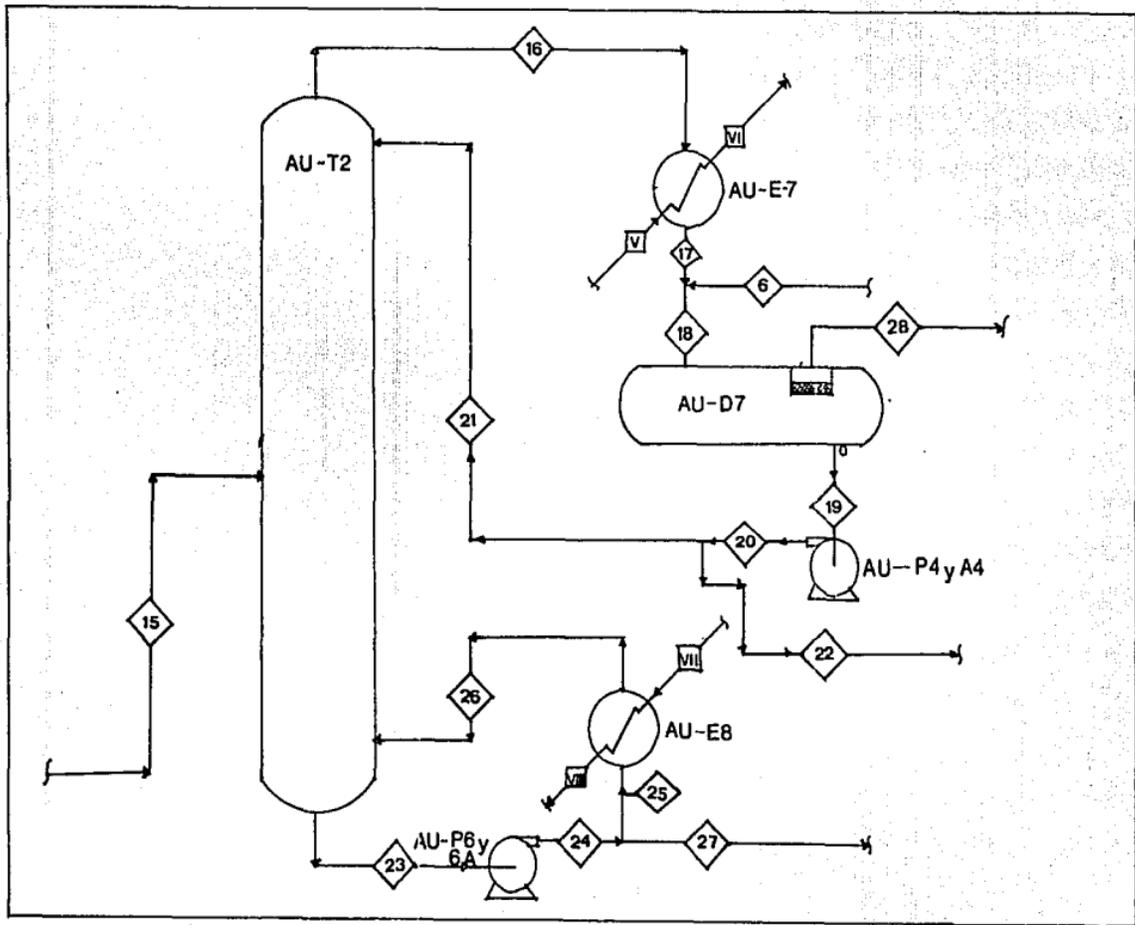
NO. DE CORRIENTE		21	22	23	24	25
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	4471.749	3741.428	18786.428	18786.428	10247.143
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr	4471.749	3741.428			
D.D.B.	Lb/hr			13984.737	13984.737	7628.038
A.L.L.	Lb/hr			1385.832	1385.832	1662.998
A.L.P.	Lb/hr			1662.975	1662.975	907.078
A.S.A.	Lb/hr			89.886	89.886	49.029
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	32.000	32.000	203.581	203.581	203.581
PRESSION	kg/cm2	8.000	8.000	2.100	8.000	8.000
DENSIDAD	g/cm3	0.860	0.860	0.870	0.870	0.870
P.M.	g/gmol	78.115	78.115	223.262	223.262	240.967
P.E.		0.860	0.860	0.870	0.870	0.870
CARGA TERM	kcal/hr			223744.347		

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.



**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENECNO DE PEMEX**

NO. DE CORRIENTE		26	27	28	29	30
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	10247.143	8539.286	14.966	3356.505	3356.505
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr	7628.038	6356.699			
A.L.L.	Lb/hr	1662.998	1385.832		3328.788	3328.788
A.L.P.	Lb/hr	907.078	755.898			
A.S.A.	Lb/hr	49.029	40.857			
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr			14.966	27.717	27.717
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	221.920	203.581	33.785	152.387	31.695
PRECION	kg/cm ²	8.000	8.000	3.000	0.600	0.600
DENSIDAD	g/cm ³	0.870	0.870		0.870	0.870
P.M.	g/gmol	240.967	240.967	2.000	198.365	198.365
P.E.		0.870	0.870		0.870	0.870
CARGA TERM	kcal/hr	17877.756			57814.513	59282.533

D.D.B. = DODECIL BENECNO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

NO. DE CORRIENTE		31	32	33	34	35
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	3328.788	3328.788	1942.956	1385.832	15737.598
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr					13984.737
A.L.L.	Lb/hr	3328.788	3328.788	1942.956	1385.832	
A.L.P.	Lb/hr					1662.975
A.S.A.	Lb/hr					89.886
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	31.695	31.695	31.695	31.695	243.198
PRESION	kg/cm ²	0.600	400 mmHg	8.000	8.000	8.000
DENSIDAD	g/cm ³	0.855	0.855	0.855	0.855	0.855
P.M.	g/gmol	200.000	200.000	200.000	200.000	248.903
P.E.		0.855	0.855	0.855	0.855	0.868
CARGA TERM	kcal/hr					681332.216

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

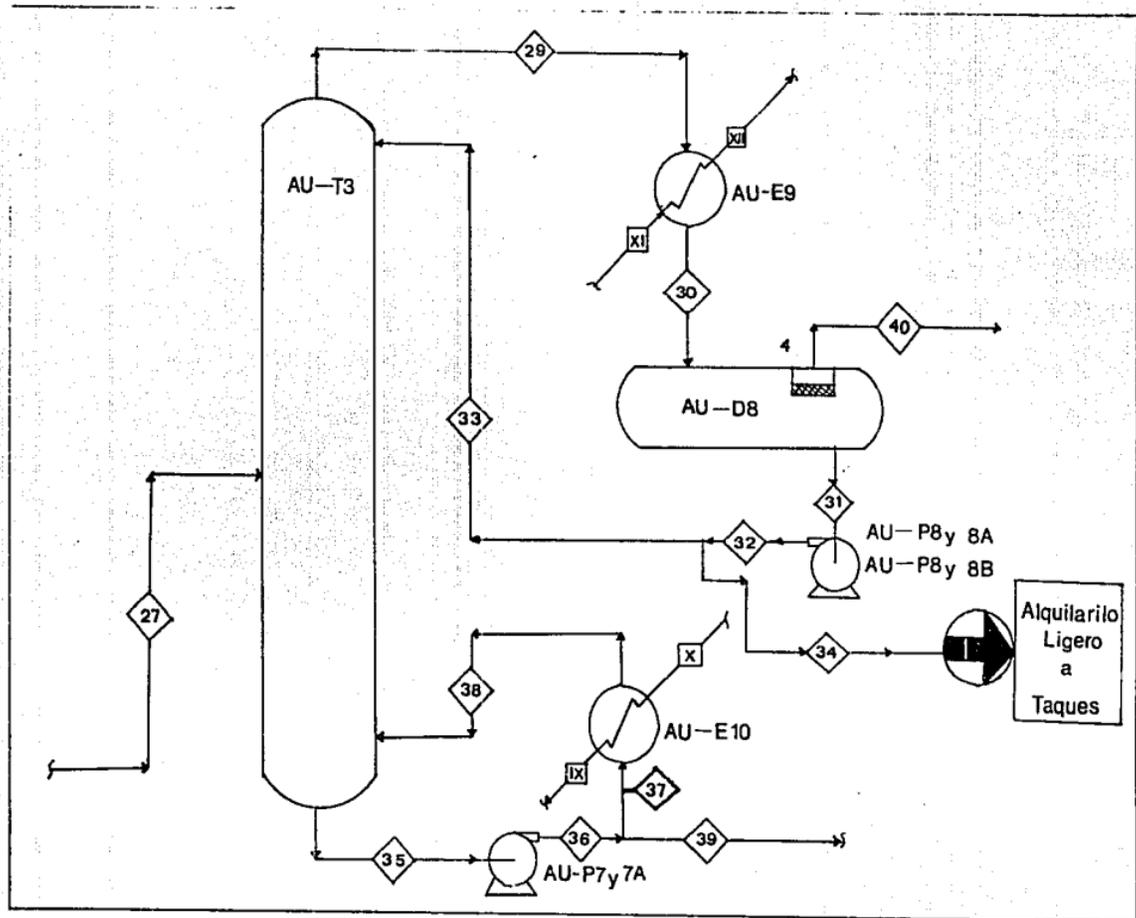
NO. DE CORRIENTE		36	37	38	39	40
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	15737.598	8584.145	8584.145	7153.454	27.717
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr	13984.737	7628.036	7628.036	6356.699	
A.L.L.	Lb/hr					
A.L.P.	Lb/hr	1662.975	907.078	907.078	755.898	
A.S.A.	Lb/hr	89.886	49.029	49.029	40.857	
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					27.717
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	243.198	243.198	246.000	243.198	31.695
PRESION	kg/cm2	8.000	8.000	8.000	8.000	1 ATMS
DENSIDAD	g/cm3	0.868	0.868	0.868	0.868	0.865
P.M.	g/gmol	248.903	248.903	248.903	248.903	2.000
P.E.		0.868	0.868	0.868	0.868	0.865
CARGA TERM	kcal/hr			1863.854		

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.



**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

NO. DE CORRIENTE		41	42	43	44	45
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	14111.871	14111.871	127.134	13984.737	13984.737
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr	13984.737	13984.737		13984.737	13984.737
A.L.L.	Lb/hr					
A.L.P.	Lb/hr					
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr	127.134	127.134	127.134		
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	174.885	32.215	32.215	32.215	32.215
PRESION	kg/cm2	50mmHg	50mmHg	1 ATMS	30mmHg	30mmHg
DENSIDAD	g/cm3	0.865	0.865		0.865	0.865
P.M.	g/gmol	247.448	247.448		247.448	247.448
P.E.		0.865	0.865	0.865	0.865	0.865
CARGA TERM	kcal/hr	105272.447	307769.374			

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

NO. DE CORRIENTE		46	47	48	49	50
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	7628.038	6356.699	1752.861	1752.861	956.106
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr	7628.038	6356.699			
A.L.L.	Lb/hr			1662.975	1662.975	907.078
A.L.P.	Lb/hr			89.886	89.886	49.029
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr					
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	32.215	30.000	246.087	246.087	246.087
PRESION	kg/cm2	8.000	8.000	50mmHg	8.000	8.000
DENSIDAD	g/cm3	0.865	0.865	0.870	0.870	0.870
P.M.	g/gmol	247.448	247.448	203.077	203.077	203.077
P.E.		0.865	0.865	0.870	0.870	0.870
CARGA TERM	kcal/hr			751.608		

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

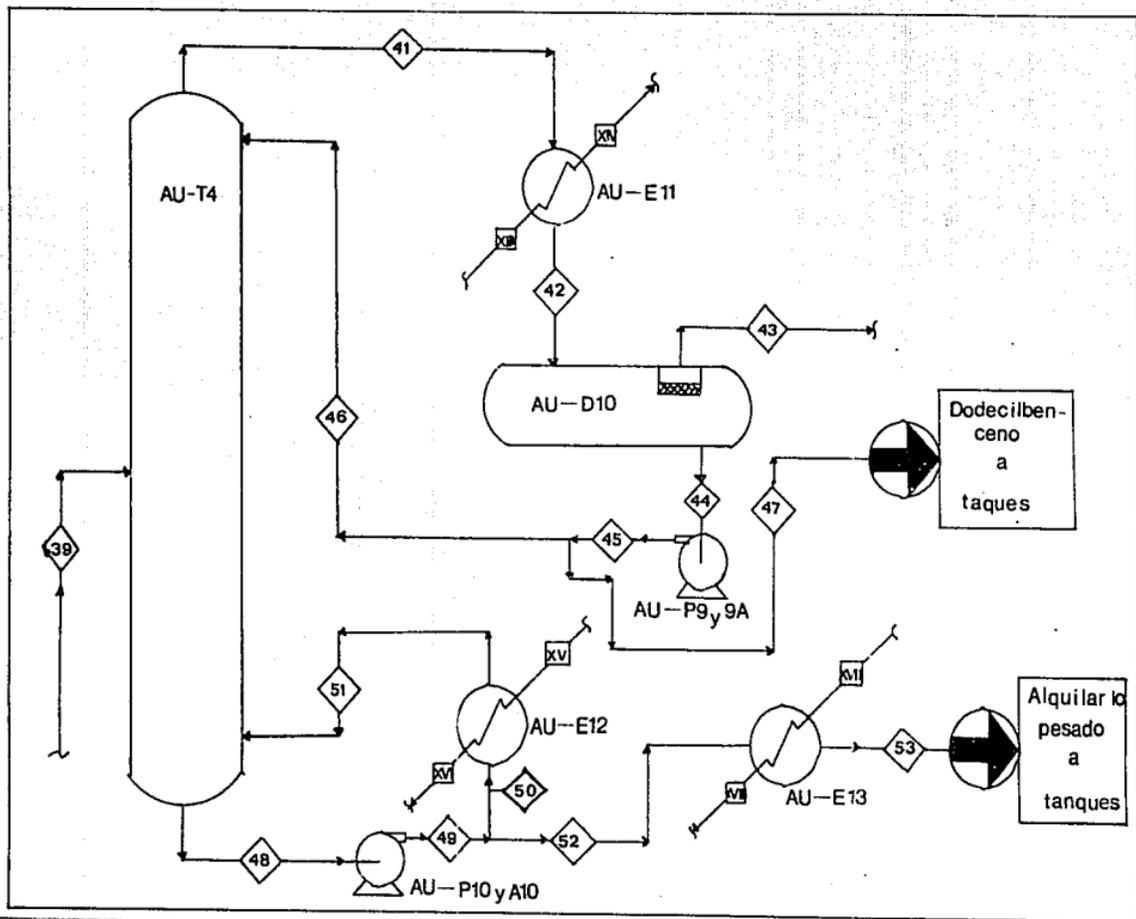
NO. DE CORRIENTE		51	52	53	I	II
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	956.106	796.551	796.551	7656.281	7656.281
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr					
A.L.L.	Lb/hr	907.078	755.898	755.898		
A.L.P.	Lb/hr	49.029	40.857	40.857		
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr				7656.281	7656.281
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	270.000	246.087	21.639	20.000	40.000
PRESION	kg/cm2	8.000	8.000	8.000	1.200	1.200
DENSIDAD	g/cm3	0.865	0.865	0.865	1.000	1.000
P.M.	g/gmol	203.077	203.129	203.129	18.015	18.015
P.E.		0.865	0.865	0.865	1.000	1.000
CARGA TERM	kcal/hr	3388.163		25698.707		69615.734

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.



BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX

NO. DE CORRIENTE		III	IV	V	VI	VII
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	963.023	963.023	8420.654	8420.654	2476.624
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr					
A.L.L.	Lb/hr					
A.L.P.	Lb/hr					
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr			8420.654	8420.654	
VAPOR	Lb/hr	963.023	963.023			
GASOLEO	Lb/hr					2476.624
TEMP.	C	155.000	135.000	20.000	40.000	330.000
PRESION	kg/cm2	2.000	2.000	1.200	1.200	8.000
DENSIDAD	g/cm3	1.000	1.000	1.000	1.000	0.846
P.M.	g/gmol	18.015	18.015	18.015	18.015	220.000
P.E.		1.000	1.000	1.000	1.000	0.846
CARGA TERM	kcal/hr		97072.718		76565.899	

D.D.B. = DODECIL BENCENO.
A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.
A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.
A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

NO. DE CORRIENTE		VIII	IX	X	XI	XII
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	2476.624	258.207	258.207	361.913	361.913
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr					
A.L.L.	Lb/hr					
A.L.P.	Lb/hr					
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr				361.913	361.913
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr	2476.624	258.207	258.207		
TEMP.	C	300.000	330.000	300.000	20.000	40.000
PRESION	kg/cm2	8.000	8.000	8.000	1.200	1.200
DENSIDAD	g/cm3	0.846	0.846	0.846	1.000	1.000
P.M.	g/gmol	220.000	220.000	220.000	18.015	18.015
P.E.		0.846	0.846	0.846	1.000	1.000
CARGA TERM	kcal/hr	17877.756		1863.894		59282.533

D.D.B. = DODECIL BENCENO.
A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.
A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.
A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

NO. DE CORRIENTE		XIII	XIV	XV	XVI	XVII
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	1878.897	1878.897	469.366	469.366	156.888
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr					
A.L.L.	Lb/hr					
A.L.P.	Lb/hr					
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr	1878.898	1878.898			156.888
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr			469.366	469.366	
TEMP.	C	20.000	40.000	330.000	300.000	20.000
PRESION	kg/cm2	1.200	1.200	8.000	8.000	1.200
DENSIDAD	g/cm3	1.000	1.000	0.846	0.846	1.000
P.M.	g/gmol	18.015	18.015	220.000	220.000	18.015
P.E.		1.000	1.000	0.846	0.846	1.000
CARGA TERM	kcal/hr		307769.374		3388.1633	

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA
DE LA PLANTA DE DODECIL BENCENO DE PEMEX**

NO.DE CORRIENTE		XVIII				
COMPONENTE	UNIDAD					
FLUJO TOT.	Lb/hr	156.888				
TETRAMERO	Lb/hr					
BENCENO	Lb/hr					
D.D.B.	Lb/hr					
A.L.L.	Lb/hr					
A.L.P.	Lb/hr					
A.S.A.	Lb/hr					
HF	Lb/hr					
IMPUREZAS	Lb/hr					
AGUA	Lb/hr	156.888				
VAPOR	Lb/hr					
GASOLEO	Lb/hr					
TEMP.	C	40.000				
PRESION	kg/cm2	1.200				
DENSIDAD	g/cm3	1.000				
P.M.	g/gmol	18.015				
P.E.		1.000				
CARGA TERM	kcal/hr	25698.707				

D.D.B. = DODECIL BENCENO.

A.L.L. = ALKIL-ARILO-LIGERO.

A.L.P. = ALKIL-ARILO-PESADO.

A.S.A. = ACEITE SOLUBLE EN ACIDO.

VALORES DE LOS EQUIPOS QUE COMPONEN LA RED TERMICA DE LA PLANTA DE PRODUCCION
DE DODECILBENCENO DE PETROLEOS MEXICANOS

No. DE EQUIPO	TEMPERATURA (C)		PRESION Kg/c		FLUJO lb/hr	CARGA TERMICA Kcal/hr
	ENTRADA	SALIDA	ENTRA	SALE		
E	30.0000	112.0000	3.7	2.1	9287.57039	97072.71765
Q	34.3655	130.1053	"	"		
U	35.7242	130.6962	"	"		
I	40.2563	132.3718	"	"		
P	35.6926	132.4082	"	"		
O	37.4358	132.8592	"	"		
	31.5678	129.2800	"	"		
	32.1152	131.8590	"	"		
I	33.9846	130.2002	"	"		
	37.2638	125.1856	"	"		
E	128.4819	33.7845	2.1	3.0	5235.0003	76565.8989
Q	126.8678	24.7568	"	"		
U	127.6258	29.7835	"	"		
I	132.2563	39.4525	"	"		
P	130.8306	35.1156	"	"		
O	129.3973	37.3847	"	"		
	128.6954	31.3335	"	"		
	129.7437	32.0000	"	"		
II	129.1998	35.2924	"	"		
	129.1457	33.4337	"	"		
E	203.5807	221.9204	8.0	8.0	10247.1427	17877.7561
Q	201.7757	223.4962	"	"		
U	203.7528	226.1164	"	"		
I	203.8592	223.1282	"	"		
P	203.5692	219.4770	"	"		
O	203.0642	220.8332	"	"		
	205.8800	218.8706	"	"		
	203.3333	221.1155	"	"		
III	203.8462	219.3076	"	"		
	203.6290	221.5849	"	"		

VALORES DE LOS EQUIPOS DEL CORRIENTE EN EL TENDIDO DE LA PLANTA DE PRODUCCION
DE DOPACILBENCENO DE PETROLEOS MEXICANOS

No. DE EQUIPO	TEMPERATURA (C)		PRESTION Kg/C		FLUJO Tm ³ /hr	CARGA TERMICA Kcal/hr
	ENTRADA	SALIDA	ENTRA	SALE		
E Q U I P O	152.3869	31.6945	0.6	0.6	3356.50473	59282.53291
	154.0038	28.4050	"	"		
	159.8462	31.6153	"	"		
	157.8848	32.4562	"	"		
	151.4610	34.2462	"	"		
	147.9488	36.1872	"	"		
	143.7602	28.7274	"	"		
IV	141.7692	25.9488	"	"		
	161.0768	23.5702	"	"		
	152.2375	30.3211	"	"		
E Q U I P O V	243.1980	246.0000	8.0	8.0	8584.14455	1863.89398
	253.7362	" "	"	"		
	253.0000	" "	"	"		
	250.2052	" "	"	"		
	248.2000	" "	"	"		
	248.6542	" "	"	"		
	245.2678	" "	"	"		
	242.5113	" "	"	"		
246.6922	" "	"	"			
V	247.9405	" "	"	"		
E Q U I P O VI	174.8850	32.2147	50 mmHg	50 mmHg	14111.87118	307769.3743
	172.5345	32.2174	" "	" "		
	171.2616	32.2742	" "	" "		
	171.7435	30.9198	" "	" "		
	183.4002	33.2152	" "	" "		
	175.2435	38.5002	" "	" "		
	176.1628	28.8952	" "	" "		
	174.4358	26.0385	" "	" "		
VI	174.9384	24.9538	" "	" "		
	174.9584	31.0254	" "	" "		

VALORES DE LOS EQUIPOS QUE COMPONEN LA RED TERMICA DE LA PLANTA DE PRODUCCION
DE DODECILBENCENO DE PETROLEOS MEXICANOS

No. DE EQUIPO	TEMPERATURA (C)		PRESION Kg/c		FLUJO lb/hr	CARGA TERMICA Kcal/hr
	ENTRADA	SALIDA	ENTRA	SALE		
E Q U I P O VII	246.0868	270.0000	8.0	8.0	956.10607	3388.16326
	246.7255	" "	"	"		
	247.2000	" "	"	"		
	250.2437	" "	"	"		
	247.3078	" "	"	"		
	247.0000	" "	"	"		
	242.7230	" "	"	"		
	239.4742	" "	"	"		
245.7378	" "	"	"			
VII	245.8108	" "	"	"		
E Q U I P O VIII	246.0868	21.6394	8.0	8.0	796.5506	25698.70694
	246.7255	20.7795	"	"		
	247.2000	22.1998	"	"		
	250.2437	22.5258	"	"		
	247.3078	24.6924	"	"		
	247.0000	23.8847	"	"		
	242.7230	19.1190	"	"		
	239.7442	20.8847	"	"		
245.7378	23.4614	"	"			
VIII	245.8108	22.1319	"	"		

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

ARTICULOS:

* A NEURAL NETWORK METHODOLOGY FOR PROCESS FAULT DIAGNOSIS.

VENKAT VENKATASUBRAMANIAN KING CHAN (Laboratory for Intelligent Process Systems School of Chemical Engineering, Purdue University).

AICHE Journal Vol.: 35; No.: 12; December 1989.
pp. 1993- 2002.

* AN EXPERT SYSTEM APPROACH TO MALFUNCTION DIAGNOSIS IN CHEMICAL PLANTS.

S.K.SHUM, J.F. DAVIS, W.F. PUNCH III AND B. CHANDRASEKABAN (Department of Chemical Engineering the Ohio State University Columbus.)

Comput. Chem. Eng. Vol.: 12; No.1; pp. 27 - 36. 1986.

* AN EXPERT SYSTEM ASSISTING FAULT ANALYSIS AND RESTORATION OF A POWER SYSTEM.

Hisayoshi Kajiwara (Kyushu Electric Power Co.).

Masahiko Kunugi (Toshiba Corporation).

pp. 1-27. 1986. JAPAN.

* ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODELS OF KNOWLEDGE REPRESENTATION IN CHEMICAL ENGINEERING.

J.C. HOSKINS AND D.M. HIMMELBLAU. (Department of Chemical Engineering, University of Texas at Austin.).

Comput. Chem. Engng. Vol.: 12; No.: 9/10; pp. 881 - 890. 1988

★ CURRENT RESEARCH IN COMPUTER SCIENCE AT MIT.

J. PETER BARTL (Cambridge).

Chemical Engineering Process. September 1987. pp. 60 -75.

★ DESIGNING CONTROL SYSTEMS WITH AN EXPERT SYSTEM.

GEORGE J. BLICKLEY.

Control Engineering. September 1987. pp. 112 - 113.

★ FAULT DIAGNOSIS IN NONLINEAR CHEMICAL PROCESSES.

PART. I/ THEORY.

PART II/ APPLICATION TO A CHEMICAL REACTOR

K. WATANABE AND D.M. HIMMELBLAU (Department of Chemical Engineering the University of Texas, Austin.).

AIChE Journal, Vol.: 29; No.: 2; March 1983; pp.243 - 249;
pp. 250 -260.

★ STATISTIC INVADE DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS.

GEORGE J. BLICKLEY.

Control Engineering. November 1987. 52 - 54.

★ THE FUTURE OF EXPERT SYSTEMS IN CHEMICAL ENGINEERING.

GEORGE STEPHAMPOULOS (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge).

Chemical Engineering Process. September 1987. pp.44-51.

★ THE APPLICATION INTELLIGENCE SOFTWARE TO PROJECT MANAGEMENT.

WILLIAM N. HOSLEY, (All-Tech Project Management Services, Inc.).

Project Management Journal. Vol.: XVIII; No. 3; August 1987.
pp. 73 - 75.

* THE PINCH DESIGN METHOD FOR HEAT EXCHANGER NETWORKS.

B. LINNHOFF (Department of Chemical Engineering, University of Manchester Institute of Science and Technology).

E. HINDMARSH (ICI New Group., P.O. Box 11, The Heath, Runcorn, England.

Chemical Engineering Science, Vol.: 38; No. 5. pp.745-763. 1983.

* WORKSHOP ON EXPERT SYSTEMS (MILAN, JANUARY 1987).

EXPERT SYSTEMS AND SOME OF THE DEVELOPMENTS IN THE CEBB.

D.A.H. JACOBS, J.F. MACQUEEN AND G. MARKHAM. (CEGB. Research in confidence). 1987.

* INTRODUCTION TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE.

William B. Gevarter (NASA Ames Research Center).

Chemical Engineering Process. September 1987.

* KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS FOR THE ENGINEER.

Mark F. Russo and Richard L. Peskin, Rutgers (Univ. Piscataway).

Chemical Engineering Process. September 1987.

* THE ROLE OF EXPERT SYSTEMS TECHNOLOGY IN DESIGN

Kristian Lien (Institute of Technology, Trondheim, Norway).

Go Suzuki (Toyo Engineering Company, Tokyo, Japan).

Arthur W. Westerberg (Carnegie Mellon University, Department of Chemical Engineering and the Design Research Center, Pittsburgh).

Chemical Engineering Science, Vol.:42, No.:5, pp: 1049-1071, 1987.

LIBROS:

* **A PRACTICAL GUIDE TO DESIGNING EXPERT SYSTEMS.**

SHOLOM M. WEISS AND CASIMIR A. KULIKOWSKI.

Rowman & Allanheld Publishers, 1983.

* **SISTEMAS EXPERTOS, UNA METODOLOGIA DE PROGRAMACION.**

J. P. SANCHEZ Y BELTRAN.

Macrobit Editores, S.A. de C.V., 1988.

* **MANUAL DE OPERACION DE LA PLANTA DE DODECILBENCENO DEL SECTOR DOS.**

PEMEX (Planta "18 de Marzo"). 1988.

* **TURBO PROLOG: REFERENCE GUIDE.**

Borland International

* **TRUBO PROLOG: USER'S GUIDE.**

Borland International