



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA PLANTA
DE PROCESOS DE CONTROL A ESCALA.
CONSTRUCCION Y CONTROL DE UN
REACTOR DE PROCESOS QUIMICOS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTAN:

PAZ GONZALEZ MELCHOR

OVIEDO RIVERA JORGE

MEAVE AVILA ENRIQUE DANIEL

DIRECTOR DE TESIS: ING. FRANCISCO SORIA VILLEGAS



MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE COPIA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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
INTRODUCCION	
CAPITULO 1	
Conceptos básicos de los reactores	
1 1 Introduccion al modelado de procesos químicos.	1
1 2 Leyes fundamentales y ecuaciones	3
1 3 Tipos de reacciones.	17
1 4 Tipos de reactores.	21
CAPITULO 2	
Diseño del reactor	
2 1 Generalidades	28
2 2 Factores y Consideraciones de diseño.	
2 2 1 Factores de diseño	29
2 2 2 Consideraciones y ecuaciones	32
2 3 Especificaciones de diseño	36
2 3 1 Selección tipo de reacción y reactor	36
2 3 2 Rangos de Operación	40
CAPITULO 3	
Construcción y funcionamiento del Reactor	
3 1 Implementacion	
3 1 1 Planos	44
3 1 2 Materiales	44
3 1 3 Construcción	47
3 2 Funcionamiento.	52

CAPITULO 4

Sensores de temperatura y actuadores

Sensor de temperatura	57
Actuadores	63

CAPITULO 5

Modelado de la planta

Malla de control	68
Ecuaciones de control	70

CAPITULO 6

Control maestro

Descripción general	71
Hardware	72
Software	85
Programa MONITOR	96

CAPITULO 7

Pruebas preliminares

Descripción de los experimentos	110
Resultados de los experimentos	112

CONCLUSIONES	116
--------------	-----

BIBLIOGRAFIA	119
--------------	-----

APENDICES	AP-0
-----------	------

INTRODUCCION

No fue sino hasta el último cambio en el plan de estudios que en la facultad de Ingeniería se imparte, de manera obligatoria, materias de química en la mayoría de las carreras. Por esto, no es raro que los alumnos no tengan la menor idea de como se lleva al cabo una reacción química y mucho menos un proceso químico.

El diseño, construcción y control de un reactor químico a nivel laboratorio, tiene como principal objetivo introducir al alumno en los principales aspectos que intervienen en un proceso químico. A este respecto existen dos puntos de vista muy importantes:

1.- El primer punto en el desarrollo del proyecto es el enfoque químico; la reacción en si misma. En la facultad de Química, algunos procesos se realizan manualmente, dejando al investigador el control de las variables de interés (temperatura). Con el desarrollo de nuestro reactor todo el proceso es automático dejando al investigador concentrarse en la reacción química que se está generando.

2.- El segundo punto se refiere a todo aquello que nos permite automatizar el proceso que se realiza manualmente. Este es el aspecto más importante para nosotros. El diseñar, construir y, sobre todo, controlar un reactor de procesos químicos requiere de muchos de los conocimientos adquiridos a través de la carrera y de muchos otros que son necesarios para poder afrontar adecuadamente el problema que se presenta. Para los alumnos que por primera vez se enfrentan a un sistema de esta clase, su funcionamiento les dará un ejemplo real y tangible de la aplicación de los conocimientos que han de adquirir. Podrán percatarse como la electrónica digital trabaja en conjunto con la electrónica analógica y la electrónica de potencia, para en conjunto, manejar los *elementos finales de control*. En general, es la mejor forma de introducir al alumno en aspectos de ingeniería de procesos químicos, con ayuda de elementos de ingeniería mecánica eléctrica.

CAPITULO 1

CONCEPTOS BASICOS DE LOS REACTORES

1.1 INTRODUCCION AL MODELADO DE PROCESOS QUIMICOS.

Nuestro interes es presentar una introducción de los conceptos fundamentales con los cuales se puede representar en forma matemática el comportamiento dinámico de los equipos básicos utilizados en procesos químicos.

El aspecto general de los conceptos básicos, está basado en el planteamiento de ecuaciones algebraicas o ecuaciones diferenciales totales, sin embargo es importante mencionar que las ecuaciones diferenciales parciales de primera importancia en el modelado matemático de comportamiento en un proceso pueden ser aproximadas a una diferencial total con ciertas condiciones, es por ello que en estas notas de introducción al modelado de procesos no se hace mención a las ecuaciones diferenciales parciales.

El modelado de procesos químicos está basado en las ecuaciones de masa, momento y energía, las cuales se aplican a todos los equipos en procesos como el caso de tanques, reactores, intercambiadores de calor, torres de destilación, tuberías y otros equipos.

Una planta de proceso tiene dentro de sus operaciones unitarias que la constituyen el siguiente equipo básico:

TANQUES DE ALIMENTACION

Son dispositivos de almacenamiento de líquidos, sólidos o gases, generalmente son los elementos de entrada al proceso.

VALVULAS

Las válvulas tienen como función, regular el gasto del fluido en las partes del proceso. Generalmente son los elementos finales de control.

REACTOR POR LOTES

Es un recipiente con una chaqueta o camisa, en el interior del recipiente se coloca el reactante y en la chaqueta se alimenta, ya sea vapor para iniciar la reacción, o agua fría si la reacción es de tipo exotérmica.

El tiempo que debe permanecer el reactante para obtener el producto deseado depende de la reacción, la cual depende del coeficiente de reacción, la temperatura y la presión.

INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor tiene como función la transferencia de calor entre cuerpos calientes y fríos sin intercambio de masa, es decir, solo existe transferencia de energía, dentro de este grupo tenemos los calentadores, los enfriadores, etc.

EVAPORADORES

El evaporador es un intercambiador de calor, el cuál tiene como finalidad la evaporación de un líquido para concentrar una solución determinada.

TORRES DE DESTILACION

La destilación es una separación de componentes que se encuentran en una solución líquida o mezcla, a partir de la cual se va a obtener uno o varios productos por medio de un proceso de ebullición basado en la diferencia de presiones y flujos en contracorriente en la torre de destilación.

1.2 LEYES FUNDAMENTALES Y ECUACIONES DE COMPORTAMIENTO DE PROCESOS QUIMICOS

Las leyes fundamentales en procesos están asociadas tanto al comportamiento físico como al químico del proceso en análisis siendo las ecuaciones de mayor importancia:

1. Ecuación total de continuidad (balance de masa)
2. Ecuación continua de componente (balance de componentes).
3. Ecuación de balance de energía.

ECUACION TOTAL DE CONTINUIDAD (BALANCE DE MASA)

El balance de masa se relaciona directamente con el principio de la conservación de la masa. la cual asociada a los procesos se entiende como:

Flujo de masa de entrada al sistema - *Flujo de masa saliendo del sistema* = *Velocidad de cambio de masa dentro del sistema*

ECUACION CONTINUA DE COMPONENTE (BALANCE DE COMPONENTE)

El balance de componente se refiere al principio de la conservación de las componentes en el sistema en estudio, relacionadas de la siguiente forma.

Flujo de moles de entrada al sistema de la componente considerada (jth). - flujo de moles saliendo del sistema de la componente considerada (jth).

velocidad de formación de + moles de la componente considerada (jth) debido a la reacción química. = tiempo de velocidad del cambio de moles de la componente considerada (jth) dentro del sistema.

BALANCE DE ENERGIA

La primera ley de la termodinámica es el principio de la conservación de la energía, en forma general dice: " la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma " (El balance de energía se basa en el principio de la conservación de la energía, donde la energía puede ser cinética, potencial, interna o suministrada en forma de calor por medio de un intercambiador). El balance de energía en forma general para un sistema abierto, en donde el flujo dentro y fuera del sistema puede ocurrir, esta dado por:

Flujo de energía interna, cinética y potencial entrando al sistema por convección o difusión. - flujo de energía interna, cinética y potencial saliendo del sistema por convección o difusión.

calor agregado al sistema por conducción, radiación y reacción. - trabajo hecho por el sistema circundante (trabajo de columna + PV trabajo). = velocidad de cambio de energía interna, cinética y potencial dentro del sistema

CONSIDERACIONES

- a.- En muchos casos en procesos químicos el término correspondiente al trabajo mecánico es igual a cero.
- b.- Si las velocidades del flujo en la entrada y salida del sistema son bajas, la energía cinética es despreciable.
- c.- Si la diferencia de alturas no es grande, la energía potencial es despreciable.

En algunos casos el balance de energía en términos de la entalpía es función de la presión y la temperatura. En general la entalpía la podemos expresar como:

$$H = U + \frac{P\bar{V}}{J} \dots\dots\dots (1-1)$$

DONDE:

H ó h = Entalpía (BTU/lbm) o (Kcal/Kg)

U = Energía interna (BTU/lbm) o (Kcal/Kg)

P = Presión (lb/ft²) o (Fg/m²)

V = Volumen específico (ft³ / lb_m)

J = 778 (ft-lb)/BTU o 427 (m-Kg)/Kcal

- d.- La entalpía a su vez se puede relacionar con el calor específico a presión constante, donde si consideramos una capacidad calorífica promedio constante tenemos:

$$Cp = H/T = \text{Entalpía/temperatura} \dots\dots (1-2)$$

donde:

Cp = calor específico a presión constante.

e.- Si se cumple la condición del inciso (d) y además la densidad es constante:

$$C_p = C_v \quad \dots\dots(1-3)$$

donde:

C_v = calor específico a volúmenes constante.

f.- Por último de la ecuación (1-1) la entalpía puede aproximarse a la energía interna ya que el término PV/J es mucho menor que la energía interna, o sea:

$$H = U$$

ECUACION DE MOVIMIENTO

La ecuación de movimiento se basa en la Segunda Ley de Newton o Ley de movimiento, la cual es para un sistema de masa constante :

$$F = \frac{Ma}{g_c}$$

donde:

F = fuerza, (lb_f).

M = masa, (lb_m).

a = aceleración, (ft/seg²).

g_c = conversión constante que se necesita para mantener las unidades consistentes = 32.2 (lb_m -ft)/(lb_f-seg²).

Siendo ésta la relación básica fundamental usada para escribir ecuaciones de movimiento para un sistema.

En una forma más general, donde la masa puede variar con el tiempo, se tiene:

$$\frac{1}{g_c} \frac{d(Mv_i)}{dt} = \sum_{j=1}^N F_{ji}$$

donde

v = velocidad en la dirección i . (ft/seg).

F_i = fuerza (j th) actuando en dirección i

Esta fórmula dice: el tiempo de velocidad de cambio del momento en la dirección i (tiempo de velocidad de masa en la dirección i) es igual a la suma neta de las fuerzas empujando en esa misma dirección. Esto puede ser como un balance de fuerzas conocido generalmente como *la conservación del momento*

Como todos sabemos en el mundo verdadero existen tres direcciones, representadas por las letras X, Y y Z . Así tres balanzas de fuerza pueden ser escritas para un sistema; por lo tanto cada sistema tiene tres ecuaciones de movimiento, 1ª una ecuación total de balance de masa, 2ª una ecuación de energía y 3ª ($j-1$) ecuaciones de balance de componentes

ECUACIONES DE TRANSFERENCIA

Las ecuaciones de transferencia se refieren a las leyes que gobiernan la transferencia de energía, masa y momento. Estas leyes de transferencia todas tienen la forma de un flujo (velocidad de traslado por unidad de área) y una existencia proporcional a una fuerza en diferentes direcciones (un gradiente en temperatura, concentración, o velocidad). La constante proporcional es una propiedad física del sistema como lo es la conductividad térmica, o viscosidad.

ECUACIONES DE ESTADO

Para poder escribir modelos matemáticos necesitamos de ecuaciones que nos digan las propiedades físicas de elementos empleados en nuestro sistema como lo son: primeramente densidad y entalpía, cambios en la temperatura, presión y composición. Por ejemplo:

$$\text{Densidad de líquido} = \rho_L = f_{(P, T, X_1)}$$

$$\text{Densidad de vapor} \dots = \rho_V = f_{(P, T, Y_1)}$$

$$\text{Entalpía de líquido} = h = f_{(P, T, X_1)}$$

$$\text{Entalpía de vapor} \dots = H = f_{(P, T, Y_1)}$$

Ocasionalmente estas relaciones tienen que ser imparcialmente complejas para describir el sistema exactamente. Pero en muchos casos pueden ser simplificadas sin afectar la exactitud completa. Pero sabemos que la ecuación de entalpía más sencilla en los balances de energía es

$$h = C_p T$$

$$H = \dot{C}_p T + \dot{\lambda}_v$$

El nivel próximo de complejidad sería hacer C_p en función de la temperatura:

$$h = \int_{T_0}^T C_p(T) dT \dots (1-4)$$

Un polinomio en T es usado frecuentemente para C_p :

$$C_p(T) = A_1 + A_2 T$$

La ecuación (1-4) se convierte en:

$$h = A_1 T + A_2 \frac{T^2}{2} - A_1 (T - T_0) + \frac{A_2}{2} (T^2 - T_0^2)$$

$$= A_3 + A_4 T + A_5 T^2$$

Por supuesto, con mezclas de componentes la entalpía total es necesitada. Si los efectos del calor en la mezcla son insignificantes la entalpía en la componente pura puede ser calculada en promedio por:

$$h = \frac{\sum_{j=1}^J x_j h_j M_j}{\sum_{j=1}^J x_j M_j}$$

donde:

x_j = fracción de mol de la jth componente.

M_j = peso molecular de la jth componente, (lb_m /mole).

h_j = componente puramente entalpica de la jth component (Btu/lb_m).

El denominador es igual al promedio del peso molecular de la mezcla.

Las densidades líquidas pueden ser constantes en muchos sistemas, a menos que puedan ocurrir cambios grandes en su composición y temperatura.

La densidad del vapor usualmente no puede considerarse invariante y alguna relación entre (PVT) es siempre requerida. La simplicidad y en la mayoría de las ocasiones se usa la ley del gas ideal:

$$PV = nRT$$

donde:

P = presión absoluta. (lb_f /ft²).

V = volumen, (ft³).

n = número de moles

R = constante = 1,545 (lb_f-ft)/(mole-°R).

T = temperatura absoluta. (°R).

Posteriormente para obtener una ecuación para la densidad de un gas perfecto con un peso molecular

M :

$$\rho = \frac{nM}{V} = \frac{MP}{RT}$$

donde :

ρ = densidad de un gas perfecto, (lb./ft³).

M = peso molecular del gas, (lb./mole).

EQUILIBRIO

La segunda ley de la termodinámica es la base para las ecuaciones que nos dicen las condiciones de un sistema cuando prevalecen las condiciones de equilibrio.

EQUILIBRIO QUIMICO

El equilibrio químico ocurre en un sistema de reacción cuando:

$$\sum_{j=1}^J \nu_j \mu_j = 0$$

donde:

ν_j = coeficiente estequiométrico de jth componente, con un signo negativo para los reactantes y un signo positivo para los productos.

μ_j = potencial químico de la componente jth.

EQUILIBRIO DE FASE

El equilibrio entre dos fases ocurre cuando el potencial químico de cada componente es el mismo en las dos fases.

$$\mu_j^I = \mu_j^{II}$$

donde :

μ_j^I potencial químico de jth componente en la fase I

μ_j^{II} potencial químico de jth componente en la fase II

Otros conceptos importantes en el modelado de procesos son las siguientes leyes que quizás son requeridas para altas presiones:

1.- LEY DE RAOULT PARA LIQUIDOS IDEALES.

$$P = \sum_{j=1}^n X_j P_j^o$$

$$Y_j = \frac{X_j P_j^o}{P}$$

donde:

Y_j = j enésima fracción de mol de vapor

P_j^o = Presión de vapor de la j enésima componente.

X_j = j enésima fracción de líquido.

La presión del vapor en función únicamente de la temperatura puede describirse muchas veces de la forma siguiente:

$$\ln P_j^o = \frac{A_j}{T} + B_j$$

2.- VOLATILIDAD RELATIVA

La volatilidad relativa α_i de la componente i a la componente j es definida:

La volatilidad relativa son justamente constantes dentro de un número de sistemas, esto es muy

$$\alpha_{ij} = \frac{y_j/x_j}{y_i/x_i}$$

conveniente y frecuentemente usado.

Dentro de un sistema binario (puede ser vapor y líquido) la volatilidad relativa, α , de la componente más volátil comparada con la componente menos volátil está definida por:

$$\alpha = \frac{y/x}{(1-y)/(1-x)}$$

Reagrupando:

$$Y = \frac{(\alpha x)}{1 + (\alpha - 1)x}$$

donde:

Y = componente de vapor.

X = componente de líquido

α = coeficiente de volatilidad (coeficiente de relación de la componente más volátil entre la menos volátil).

3. - CONSTANTE DE EQUILIBRIO DE EVAPORACION.

La velocidad de evaporización del equilibrio, K , son muy usadas, particularmente en la industria del petróleo. El valor k se define :

$$K_j = \frac{Y_j}{X_j}$$

donde:

K_j = coeficiente que depende de la temperatura, y en forma más pequeña, a la composición y presión.

Y_j = J-ésima componente de vapor.

X_j = J-ésima componente de líquido.

4.- COEFICIENTE DE ACTIVIDAD PARA LIQUIDOS NO IDEALES

La ley de Raoult's muchas veces ha sido fácilmente modificada para la no idealidad. Los factores de actividad usados son llamados coeficientes de actividad.

$$P = \sum_{j=1}^J x_j P_j^* \gamma_j$$

donde: γ_j - coeficiente de actividad de la j-th componente.

El coeficiente de actividad es igual a 1 si la componente es ideal. Los coeficientes de actividad son funciones de temperatura, composición y presión.

CINETICA QUIMICA

Para el modelado de muchos reactores químicos se debe estar familiarizado con las relaciones fundamentales y terminologías usadas en la descripción de la cinética de reacciones químicas, es decir, familiarizados con la velocidad de reacción que presentan las reacciones químicas.

Las ecuaciones que nos describen este comportamiento son las siguientes:

ECUACION DE ARRHENIUS

La ecuación de Arrhenius determina: la temperatura en un sistema de reacción depende de una velocidad de reacción específica, k , y es usualmente encontrada en forma exponencial:

$$k = a \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

donde

k = coeficiente de velocidad de reacción específica. (las unidades que involucran los demás parámetros están definidas abajo).

a = factor preexponencial (las unidades son las mismas que k), es una constante.

E = energía de activación (BTU/mol) o (Kcal/mol).

R = constante del gas perfecto (1.99 BTU/mol °R) o (Kcal/mol °K)

T = temperatura absoluta (°R o °K).

Esta dependencia exponencial de temperatura representa uno de los más severos comportamientos no lineales en la ingeniería de sistemas químicos. Pero si mantenemos la "aparente" dependencia de temperatura de una reacción puede esta no ser exponencial si la reacción en transferencia de masa es limitada y la velocidad química no lo es. Si ambas se encuentran en la operación del reactor, el modelo matemático tiene evidentemente que incluir ambas velocidades de reacción y efectos de transferencia de masa.

LEY DE ACCION DE MASA

La velocidad completa de reacción, R , se define como la velocidad de cambio de moles de una componente por unidad de volumen debido a la reacción química, dividida por el coeficiente estequiométrico de la componente.

$$R = -\frac{1}{\nu_j V} \times \frac{dn_j}{dt} \dots \dots \left[\frac{\text{moles componente } j}{\text{seg} \cdot \text{m}^3} \right]$$

El coeficiente estequiométrico ν_j es positivo para productos de la reacción y negativo para los reactivos.

Nota esta ley de masa de acción, R , es una propiedad intensiva y puede ser aplicada a sistemas de cualquier tamaño.

1.3 TIPOS DE REACCIONES

La meta final de un ingeniero químico al trabajar con reacciones químicas incluye, en general:

- 1).- La selección del tipo del reactor entre muchas alternativas de diseño.
- 2).- Determinar el tamaño necesario del reactor.
- 3).- Especificar las condiciones del funcionamiento.

Para alcanzar este objetivo debe conocer la velocidad de la reacción química, la máxima conversión que puede obtenerse, la naturaleza de los procesos físicos que interactúan con la reacción química y los parámetros que influyen en los aspectos antes citados.

Las velocidades de los procesos físicos, es decir, las transferencias de masa y calor pueden ser razonablemente estimados en muchos de los casos tomando como base las propiedades de las sustancias que participan en la reacción, los patrones de flujo, la geometría del depósito de reacción, etc. Por otro lado, los datos químicos de la velocidad relacionados con la mayoría de las reacciones industrialmente importantes se basan en la investigación experimental de las reacciones químicas específicas de que se trata.

REACCIONES COMPLEJAS

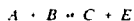
Casi todas las relaciones importantes en lo que respecta a procesos industriales, tiene una naturaleza muy compleja debido a que su mecanismo de reacción son considerablemente distintos de las ecuaciones estequiométricas. En tales casos el mecanismo de reacción se determina a menudo por prueba y error, postulando que la reacción global se desarrolla siguiendo dos a más etapas elementales de reacción. La expresión global resultante se compara después con los datos experimentales a fin de examinar el grado de similitud entre ambas. Este procedimiento se repite hasta obtener el grado de exactitud deseado.

Las etapas de reacción de un mecanismo complejo pueden desarrollarse en forma REVERSIBLE.

SIMULTANEA y/o CONSECUTIVA. En cualquier caso, la velocidad neta de la reacción global se considera como la suma de todas las velocidades de las etapas de reacción individuales basada en un componente en particular.

REACCIONES REVERSIBLES

Este tipo de reacciones se presentan cuando la reacción inversa se hace importante antes que la reacción directa logre alcanzar un elevado grado de conversión de los reactivos. Por ende se puede ilustrar de la siguiente manera:



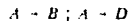
REACCIONES CONSECUTIVAS (O EN SERIE)

Este tipo de reacciones se presentan cuando se logra primero una reacción importante, posteriormente como consecuencia de esta se realiza otra reacción y así sucesivamente hasta el número de reacciones que se deseen. Por ende se puede ilustrar de la siguiente manera:



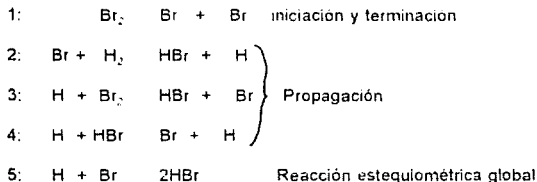
REACCIONES PARALELAS (LATERALES O SIMULTANEAS)

Estos son procedimientos que comprenden uno a más reactivos que sufren reacciones que obedecen a más de un patrón dado, es decir, varias reacciones se realizan al mismo tiempo. Un ejemplo:



REACCIONES MIXTAS

Esta clase implica combinaciones de reacciones reversibles, consecutivas y/o paralelas. Una de las reacciones mixtas comunes es la llamada en cadena, que se ilustra por medio de la muy conocida síntesis del HBr (hidrobromuro) a partir de Hidrógeno y Bromo:



REACCION HETEROGENEA.

En un sistema heterogéneo de reacción, la expresión general de velocidad se hace más compleja debido a la interacción de procesos físicos y químicos. Esta complicación se introduce debido al requisito de que los reactivos de una fase deben transportarse a la otra, que contienen otros reactivos, en donde se desarrollan las reacciones. Se considera que los procesos físicos y químicos de velocidad en el sistema heterogéneo no catalizado ocurre en serie y/o paralelo.

REACCION AUTOCATALITICA

En un sistema de reacción autocatalítico uno de los productos actúa como catalizador. Se ilustra de la siguiente forma:



Donde:

D : Catalizador

A,B : Reactivos.

REACCION EXOTERMICA

Cuando la cantidad de calor liberado es tal que la velocidad de reacción se sustenta a pesar de la concentración decreciente del reactivo.

REACCION ENDOTERMICA

Conforme la temperatura desciende al desarrollarse la reacción, tanto la velocidad de la reacción como la conversión del equilibrio disminuirán.

1.4 TIPOS DE REACTORES

Como todos los reactores producen calor y algunos radiación nuclear, se puede establecer una clasificación en dos grupos. El primero comprende los reactores cuyo fin principal es el aprovechamiento del calor (reactores utilizados principalmente para la producción de energía eléctrica, mediante el aprovechamiento de las propiedades físicas y químicas de elementos químicos radioactivos); el segundo considera los reactores que fundamentalmente utilizan las propiedades químicas y físicas de los elementos químicos no radioactivos (reactores utilizados principalmente para la producción de un proceso químico industrial).

En el primer grupo se encuentran los reactores de potencia para la producción de energía eléctrica, calor y propulsión (reactores nucleares). El segundo grupo comprende los distintos tipos de reactores de investigación, prueba de materiales y reproducción (reactores químicos industriales y de laboratorio). Dentro del primer grupo existe otra clasificación:

- 1°. Reactor de agua pesada a presión.
- 2°. Reactor de agua a presión.
- 3°. Reactor de agua hirviendo.
- 4°. Reactor enfriado por dióxido de carbono y moderado por grafito.
- 5°. Reactor líquido de crias enfriado por sodio.

REACTOR DE AGUA PESADA A PRESION (PHWR o CANDU)

La principal característica de este reactor desarrollado en Canadá y conocido también

como CANDU, consiste en que utiliza uranio natural como combustible y agua pesada como moderador y enfriador.

El núcleo del reactor se encuentra dentro de un cilindro denominado calandria, atravesado axialmente por tubos de paredes relativamente gruesas llamados tubos de presión, en cuyo interior se alojan los elementos combustibles. La calandria está llena de agua pesada, que actúa como moderador de los neutrones. Por dentro de los tubos de presión, bañando los elementos combustibles, circula agua pesada que actúa como refrigerante de dichos elementos y provoca que su temperatura se eleve sin llegar a entrar en ebullición, debido a que la presión en el interior de los tubos es muy alta.

El agua pesada caliente pasa después al generador de vapor, donde transfiere su energía térmica a un circuito de agua y la hace hervir.

El vapor generado mueve al tubo generador para producir energía eléctrica; después se condensa y regresa de nuevo al generador de vapor. Por su parte, el agua pesada regresa al reactor para continuar refrigerando los elementos combustibles.

REACTOR DE AGUA A PRESION (PWR)

En este tipo de reactor los elementos combustibles se encuentran dentro de una vasija de presión llena de agua, que desempeña el papel tanto de moderador como refrigerante. Como en el caso del reactor CANDU, el agua no hierve precisamente debido a la presión interna de la vasija, después el agua transmite su energía térmica a otro circuito de agua natural y la hace entrar en ebullición, fenómeno que tiene lugar en el generador de vapor. Dicho vapor se utiliza para mover el tubo generador, después de lo cual es condensado y regresado de nuevo al generador de vapor. Por su parte, el agua a presión, después de haber transmitido el calor, se reintegra al reactor para repetir su ciclo.

Este tipo de reactor utiliza como combustible uranio enriquecido, en lo cual la proporción del isótopo de uranio 235 aumenta del 0.7% a 3% .

REACTOR DE AGUA HIRVIENTE (BRW)

Se asemeja mucho al PWR, ya que también utiliza agua natural como moderador y enfriador, y como combustible uranio enriquecido. La diferencia estriba en que el reactor BWR el agua si entra en ebullición dentro de la vasija, gracias a que la presión interior es menor que en el PWR, produciéndose directamente el vapor que se utiliza para mover el turbogenerador.

Como en los casos anteriores, después de efectuar esta operación, el vapor se condensa y regresa al reactor para repetir el ciclo.

Ambos reactores integran la familia de agua natural, que domina ampliamente el mercado de la industria núcleo-eléctrica. De las 417 unidades que existían en operación a fines de 1987, aproximadamente el 75% eran de alguno de estos tipos: proporción que se sostiene en los 120 reactores que estaban en etapa de construcción en la misma fecha.

El tipo de reactor utilizado en la central núcleo-eléctrica de Laguna Verde es precisamente el BWR.

REACTOR ENFRIADO POR BIXIDO DE CARBON Y MODERADO POR GRAFITO (GCR)

Aun cuando en las primeras etapas de desarrollo de la industria nucleoeleétrica estos reactores ocuparon un lugar importante, su popularidad ha disminuido sensiblemente con el tiempo debido principalmente a razones económicas.

A diferencia de los anteriores, este sistema no utiliza agua como enfriador, sino bióxido de carbono; emplea grafito como moderador y uranio natural en forma de metal como combustible.

REACTOR RAPIDO DE CRIA ENFRIADO POR SODIO (LMFBR)

Este reactor utiliza combustible enriquecido en más del 20% ya sea con uranio 235 o plutonio 239. Su peculiaridad es que el núcleo se rodea con un manto de uranio natural o empobrecido, que

al absorber neutrones poco moderados, se transforma en plutonio y de esta manera crea nuevo combustible en mayor cantidad que el que consume

El plutonio creado puede utilizarse como carga inicial de nuevos reactores de cría o como recargas de reactores CANDU, PWR, BWR y GCR.

El enfriador en estos reactores es sodio fundido, el cual también modera incipientemente los neutrones, aunque no es ese su propósito pues la reacción de cría se favorece con neutrones rápidos.

El segundo grupo comprende los reactores químicos, el cual es nuestro caso, como anteriormente se había mencionado. Estos a su vez se han clasificado de una manera general en dos formas: 1ª, una que se relaciona con el tipo de operación y 2ª, según las características de diseño. La primera clasificación se asocia primordialmente con reacciones homogéneas y divide a los reactores en las siguientes clases: DISCONTINUOS, CONTINUOS Y SEMICONTINUOS.

REACTOR DISCONTINUO

Este tipo admite todos los reactivos al principio y los procesa según un curso predeterminado de reacción durante el cual no se alimenta ni se extrae ningún material. Por lo común, el reactor tiene forma de tanque con o sin agitación, y se utiliza primordialmente en una producción a pequeña escala. La mayoría de los datos cinéticos básicos del diseño del reactor se obtienen en esta clase de equipo.

REACTOR CONTINUO

En este tipo de reactor los reactivos se introducen y los productos se extraen simultáneamente y en forma continua. Este puede tener la forma de un tanque, una estructura tubular o una torre, y tiene multitud de aplicaciones en plantas a gran escala con el propósito de reducir los costos de operación y facilitar el control de la calidad del producto.

REACTOR SEMICONTINUO

A esta categoría pertenecen aquellos reactores que no satisfacen por completo las dos clases antes mencionadas. En uno de los casos, algunos de los reactivos se cargan al principio, en tanto que los restantes se dosifican continuamente conforme se desarrolla la reacción. Otro tipo es similar al reactor discontinuo, excepto que uno o más de los productos se extrae en forma continua.

Los reactores químicos se han clasificado también de acuerdo a sus características de diseño de la manera siguiente: REACTOR TANQUE, REACTOR TUBULAR, REACTOR EN TORRE, REACTOR DE LECHO FLUIDIFICADO Y REACTOR PARA FASES DISPERSAS.

REACTOR TANQUE

Este es quizás el reactor de uso más común en la industria química. En la mayoría de los casos, está equipado con algún medio de agitación (centrifugación, oscilación o sacudidas) así como de elementos para la transferencia de calor (intercambiadores de calor de cubierta, externos o internos). Esta clase admite tanto la operación discontinua como la continua en amplias gamas de temperaturas y presiones. Con la excepción de los líquidos muy viscosos, el tanque con agitación produce un mezclado casi perfecto. En una operación continua se pueden conectar en serie varios reactores de este tipo.

REACTOR TUBULAR

Este tipo de reactor se construye ya sea de un sólo tubo continuo o varios tubos en paralelo. Los reactivos penetran por un extremo del reactor y el producto sale por el otro extremo, con una variación continua en la composición de la mezcla de reacción entre estos extremos. La transferencia de calor hacia el reactor o desde este se logra por medio de una camisa o un diseño

de tubos y carcasa. Los tubos del reactor pueden estar empacados con gránulos de catalizador o sólidos inertes. El reactor tubular tiene aplicación en casos en los que es indeseable el retromezclado en la dirección del flujo. Las reacciones gaseosas a gran escala tales como la disociación catalítica de hidrocarburos son ejemplos de la aplicación de este género de reactores.

REACTOR EN TORRE

Esta clase de reactor se caracteriza por su estructura cilíndrica vertical con una relación grande entre la altura y el diámetro. Puede tener desviadores o rellenos sólidos (reactivos, catalizadores o inertes), o bien, quizá se limite sencillamente a torre vacía, y se utiliza para procesos continuos de reacciones heterogéneas. Como ejemplo de ellos están el horno de cal y las unidades de absorción de gases para reacciones gas-líquido, incluyendo las torres empacadas, las de platos y rociamiento.

REACTOR DE LECHO FLUIDIFICADO

Se trata de un depósito cilíndrico vertical que contiene partículas sólidas finas que son catalizadores o reactivos. La corriente del reactivo fluido se introducen la base del reactor a una velocidad tal que los sólidos flotan en la corriente del flujo sin salir del sistema. En estas condiciones, el lecho de partículas se comporta como un líquido en ebullición que tiende a igualar la composición de la mezcla de reacción y al temperatura a lo largo del lecho (es decir, se crea cierto grado de retromezclado). Generalmente se considera que ésta es una de las ventajas específicas del reactor de lecho fluidizado. Una de las desventajas del mismo es la trituración del catalizador con el arrastre del material fino resultante. Se ha aplicado extensamente a reacciones sólido-fluido como la disociación catalítica de los hidrocarburos de petróleo, la conversión de óxidos de uranio en cloruros de uranio, la reducción de algunos minerales metálicos y la gasificación del carbón.

REACTOR DE FASES DISPERSAS

Este tipo de reactor se caracteriza por una columna vertical que contiene partículas de catalizador muy finas suspendidas en un medio líquido (por ejemplo, aceite) que puede ser uno de los reactivos. El reactivo gaseoso que se burbujea por la suspensión se disuelve en el medio líquido en donde se producen las reacciones catalizadas. Esta técnica facilita el control de la temperatura debido a la gran capacidad calorífica y las características favorables de transferencia de calor del líquido. En la hidrodisolución de aceites combustibles residuales se encontrarán ejemplos de reactores de fases dispersas de producción.

CAPITULO 2

GENERALIDADES DE DISEÑO DEL REACTOR

2.1 GENERALIDADES

Se ha reconocido en general que el diseño de un reactor químico a escala comercial, que constituye el corazón de una planta química, es imposible lograrlo aplicando tan solo un método puramente teórico

Por principio de cuenta debe disponerse por lo menos de datos de laboratorios y/o planta piloto de las reacciones comprendidas.

Básicamente, la velocidad de una reacción química dada no depende del tamaño y la estructura de un reactor; pero la velocidad de reacción química si esta influenciada por procesos físicos tales como transferencia de masa y transferencia de calor, que generalmente se controlan a través del tamaño y la estructura del reactor en forma que rara vez puede predecirse sobre una base cuantitativa. Esos efectos pueden generar un cambio de velocidad general de la misma reacción, en una distribución del producto distinta, o en ambos aspectos.

Para manejar una reacción compleja entre la velocidad global de reacción y el tipo y tamaño del reactor por métodos empíricos convencionales de aumento progresivo¹, sería muy costoso y requeriría mucho tiempo. En consecuencia se ha propuesto varios métodos semiempíricos alternativos que puedan resolver en parte este problema. Entre otros están el de similitud química (similitud dimensional aplicada a reacciones químicas) y el método de formulación de modelos matemáticos que facilitan gracias a la posibilidad de computadoras de alta velocidad. Estos métodos no dejen de necesitar datos cinéticos básicos a escala de laboratorio y/o estudios a escala de planta piloto tanto como de la experiencia práctica.

¹ El procedimiento del aumento progresivo satisfactorio puede requerir un método empírico escalonado en el que el tamaño del reactor se vaya incrementando en forma sucesiva, teniendo como meta final el tamaño comercial deseado. Este método implica gastos de tiempo y dinero antes de lograr la construcción de una planta comercial

2.2 FACTORES Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO

2.2.1. FACTORES DE DISEÑO

Puesto que todos los procesos químicos giran en torno al reactor químico, uno de los factores más importantes para determinar la economía general del proceso es el diseño del mismo. Contrariamente a lo que sucede con el equipo para procesos de transferencia de masa o calor, no existe ningún método directo para diseñar equipos en los que se pueda desarrollar una reacción química. Esto se debe a que el diseño de un reactor químico está regido primordialmente por el sistema de reacción específico de que trate.

Al iniciar la tarea de diseño, deberá contarse con la siguiente información:

- a) El tipo de reacción (simple o compleja).
- b) La necesidad de un catalizador.
- c) Las fases comprendidas.
- d) La modalidad del control de temperatura y presión (isotérmica, adiabático u otro; la necesidad de presión, vacío, etc.).
- e) La capacidad de producción.

Además, los datos básicos necesarios incluyen :

- 1) Las expresiones químicas de velocidad en función de la temperatura, la presión, etc. .
- 2) Las características de transferencia de calor y masa.
- 3) Las propiedades físicas de todos los componentes que participan en la reacción.

Una vez recabada la información y los datos antes citados, se procede a una selección preliminar y determinación del tamaño del reactor.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCION DEL TIPO DE REACTOR

Cuando se lleva acabo la selección preliminar del tipo de reactor, ya debe haberse establecido la cinética de la reacción y la forma en que se ve afectada por los parámetros claves del proceso, como también debe haberse determinado ya las condiciones óptimas de operación. En el diseño de un reactor industrial, las consideraciones más importantes para elegir un tipo de reactor dado son, por lo común el costo y el beneficio. Así, pues, los criterios que se siguen para dicha selección deben ser tales que reduzcan los costos a un mínimo e incrementen el beneficio al máximo. Estos criterios se determinan a través de factores que se clasifican en tres grupos distintos, a saber:

- a) Técnicos.
- b) Económicos.
- c) Sociales.

FACTORES TECNICOS.

Los aspectos técnicos se relacionan con los factores químicos y físicos del proceso que controlan el rendimiento y la calidad del producto, relacionándose de la manera siguiente:

a) FACTORES QUIMICOS DEL PROCESO:

Hay solo tres clases de reactores que generalmente se toman en consideración y son: a) discontinuo, b) continuo (tanque agitado) y el tubular (flujo tipo tapón). El rendimiento en producto, y su calidad o composición están regulados por factores técnicos que son características de cada clase de reactor y sus condiciones de funcionamiento.

Los factores químicos del proceso incluyen el tipo de reacción (simple o compleja), la velocidad de reacción, la capacidad de producción y la necesidad de un catalizador. En una reacción de orden

simple, la distribución del producto se fija por medio de estequiometria.

b) FACTORES FISICOS DEL PROCESO:

En esta clasificación se incluye los factores técnicos mencionados anteriormente. Los factores químicos incluyen la modalidad de la transferencia de calor (isotérmica, adiabática ,etc.), el grado de agitación, el volumen de reacción y las clases de fases comprendidas. Estos factores están casi siempre tan íntimamente asociados con los factores químicos del proceso, que no siempre es posible separarlos.

FACTORES ECONOMICOS

Este factor incluye la inversión del capital y los costos de operación. La complejidad del reactor no lleva necesariamente ninguna relación con la clase del mismo, pero sí influye mucho en el diseño del reactor, porque se busca un máximo beneficio a un costo mínimo.

Es difícil establecer correlaciones exactas entre los costos y la clase del reactor, esta correlación varía dependiendo del proceso de producción deseado principalmente.

FACTORES SOCIALES

Los factores comprendidos en esta clasificación no se evalúan directamente en términos económicos, pero sí pueden influir en la decisión del tipo de reactor. Estos factores están principalmente enfocados a la seguridad y satisfacción de los operadores, así como los posibles efectos dañinos que pueda producir el reactor en el medio ambiente. Aunque estos factores no han merecido mucha atención en el pasado, en la actualidad han comenzado a desempeñar un papel cada vez más importante en el diseño de una planta química.

2.2.2 CONSIDERACIONES Y ECUACIONES BASICAS DE DISEÑO

Entre las principales consideraciones que deben hacerse en el diseño de un reactor, desde el punto de vista de la economía del proceso, hay que incluir la capacidad del mismo y la capacidad para dar la composición del producto deseado. Para poder estar en condiciones de seleccionar y fijar el tamaño de un reactor, se requiere algunos parametros comunes que permitan una comparación sistemática de varios tipos de reactores.

Las ecuaciones de diseño se basan por lo común en tres clases de reactores ideales:

- 1) Reactor discontinuo (o BATCH o LOTE).
- 2) Reactor tubular (flujo tipo tapón).
- 3) Reactor continuo (Tanque agitado).

En el primero, todos los reactivos se introducen en este reactor y no se descarga la reacción hasta que concluye el proceso. La suposición de un mezclado perfecto implica una composición homogénea en el reactor en cualquier momento dado.

El segundo tipo de reactor ideal supone un mezclado completo en la dirección radial; pero no permite ninguna difusión en dirección del flujo (es decir, no hay agitación). Como resultado los perfiles de velocidad, temperatura y composición son planos en cualquier área transversal perpendicular al flujo, pero la composición varía a lo largo de la trayectoria de flujo.

El tercer tipo se presentan corrientes continuas en régimen estacionario en los flujos de alimentación y de producto. La alimentación adopta inmediatamente una composición final uniforme a lo largo del reactor, debido a la perfección del mezclado. Además la corriente de salida tendrá la misma composición que la que prevalece en el interior del mismo.

CARACTERISTICAS DEL REACTOR QUE DEBEN TOMARSE EN CUENTA

Aunque los reactores prácticos no satisfacen por completo las ecuaciones, en muchos casos

se logran aproximaciones por medio de los modelos del reactor ideal, sin que se introduzca ningún error grave. Por otro lado, hay varios casos en que las desviaciones del comportamiento ideal son tan notables que se generaría un error excesivamente grande si el diseño se basara por completo en los modelos ideales. Como ejemplos están el reactor catalítico tubular de lecho fijo con enfriamiento de paredes y el reactor de tanque agitado que se usa para una mezcla viscosa de reacción. Estas desviaciones se resuelven a veces introduciendo factores de corrección experimentales o empíricos a los modelos del reactor ideal.

Además del comportamiento no ideal, también deben tomarse consideraciones de las características de reactor que gobiernan el grado de conversión y la composición del producto. Estas incluyen el tipo y tamaño del reactor, la temperatura y la presión de la reacción. La influencia de estos dos últimos parámetros es particularmente compleja en procesos que comprenden reacciones homogéneas múltiples al igual que en casi todas las reacciones heterogéneas.

EFFECTOS TERMICOS

El proceso del cambio químico va siempre acompañado por el desprendimiento o absorción del calor, lo que influye no sólo en la velocidad de reacción, sino también en la conversión al equilibrio y la composición del producto.

EFFECTOS DE LA PRESION

El efecto de la presión es más importante en reacciones en fase gaseosa. El cambio de presión influye también en la energía de activación de algunas reacciones. La conversión de equilibrio y la

composición del producto de reacciones gaseosas se ven afectados por la presión cuando la cantidad de moles varía en función del progreso de la reacción.

EFFECTOS DEL FLUJO

La desviación del comportamiento ideal, supuestas durante el desarrollo de las ecuaciones básicas de diseño de un reactor, están presentes en reactores prácticos, y con frecuencia, el grado de no linealidad varía de manera considerable, dependiendo de la escala y clase de reactor. Por ejemplo, desviaciones observadas en un reactor de retromezclado son las siguientes:

1) Cortocircuitos y desviaciones en el fluido reaccionante, es decir, ciertas proporciones del fluido pueden pasar directamente de la entrada de alimentación al orificio de descarga sin mezclarse con el contenido del reactor.

2) Reciclaje interno del fluido.

3) Presencia de bolsa de fluido estancado.

Las diferentes clases de comportamiento antes citada en el ejemplo, implican que porciones del fluido reaccionante siguen trayectorias de flujo independientes a lo largo del depósito de reacción, generando una amplia distribución de tiempos de residencia. Este género de desviaciones del comportamiento ideal representa una disminución en la eficiencia del reactor y provoca la reducción de su capacidad productiva.

CONSIDERACION DE ECUACIONES BASICAS DE DISEÑO

Las ecuaciones de diseño se basan por lo común en tres tipos de reactores ideales, descritos anteriormente (capítulo 2.2.2). Las dos principales ecuaciones básicas de diseño desde el punto de vista económico son:

1^a) CAPACIDAD DEL REACTOR

El parámetro que se ha utilizado comúnmente como medida de la capacidad del reactor es el tiempo medio de residencia $\bar{\theta}$, también conocido como espacio de tiempo. El tiempo medio de residencia es el promedio de períodos durante los cuales las porciones individuales de la mezcla de reacción permanecen dentro del reactor, y se describe matemáticamente por medio de la expresión general:

$$\bar{\theta} = \int_{N_{A0}}^{N_A} \frac{N_A}{V(r_A)} dN_A$$

Donde:

N_A y N_{A0} = moles del reactivo A que entran y salen del reactor respectivamente.

V = volumen.

r_A = velocidad de reacción.

2^a) BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

En el diseño de un reactor químico se necesitan también ecuaciones que representen los balances de masa y energía (ecuaciones descritas en forma general en el capítulo 1.2). El balance de masa describe las velocidades de la transformación química de varios componentes en lo que respecta a una expresión de la velocidad específica, de la velocidad del flujo de alimentación y el volumen del reactor. En consecuencia, la composición de la mezcla de reacción se calcula partiendo del balance de materia. La velocidad de generación o absorción del calor expresada como una función de la velocidad de reacción y varias propiedades térmicas del sistema de reacción se derivan del balance de energía. Luego, esta información sirve para diseñar el equipo de transferencia de calor para el reactor.

2.3 Especificaciones de diseño

El diseño y construcción de este reactor se especificó con fines de tipo didáctico, para poder implementar prácticas de laboratorio, donde el alumno visualizará las diferentes etapas de control y proceso, así mismo monitoreará los diferentes parámetros que requiera el proceso de producción que se emplee en este tipo de reactor.

2.3.1 Selección tipo de reacción y reactor

El primer punto principal para poder realizar el diseño de un reactor, como ya se mencionó en el capítulo (2.2.1), es tener definida la reacción a emplear y su volumen de producción, todos los demás parámetros giran en torno a estos dos principales aspectos.

El diseño deberá ser con fines didácticos y empleado en prácticas experimentales de laboratorio, por tal motivo nuestra reacción deberá comprender los siguientes requisitos:

- a) Reacción no peligrosa (radioactiva, explosiva, etc.).
- b) Reacción no tóxica (al hacer contacto, el organismo humano no presente alteraciones, por ejemplo, intoxicación, irritación de la piel, etc.).
- c) Reacción no contaminante. (sus desechos no contaminen el medio ambiente).
- d) Reacción fácil de observar su proceso (visualización de las diferentes fases del proceso y sus modos de automatización en su control).

Ante estos requisitos optamos por pedir asesoría a gente con experiencia en el ramo, encontrándonos con la limitante de que existe muy poca gente que conozca de reacciones y reactores. Visitamos el IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) y nos entrevistamos con la gente correspondiente, en primera instancia presentamos nuestro objetivo obteniendo con ello una visita a su área de producción.

Obtuvimos una primer respuesta al grado de que ellos nos construían el reactor y nosotros únicamente nos enfocáramos a su automatización, pero el costo de fabricación era de N\$ 350 000.00 , una segunda posibilidad que planteamos nosotros fue que nos asesoraran en su construcción, pero nos cobraban N\$ 4 000.00 por 14 horas de asesoría. Para nosotros estos precios fueron motivo de búsqueda de otras opciones.

Nos entrevistamos con ingenieros químicos, donde únicamente obtuvimos una idea general de todo lo que involucra un proceso químico, obtuvimos por parte de ellos diferentes reacciones como producción de ácidos, sosas ,etc.; lamentablemente no reunían los requisitos antes señalados.

Ante tales circunstancias optamos por visitar la Facultad de Química de la UNAM, dirigiéndonos a su división de Ingeniería Química, donde expusimos nuestro objetivo y obtuvimos una respuesta satisfactoria por parte de ellos. En su división cuentan con un departamento de ingeniería de reactores que a su vez tiene su propio laboratorio; donde se realizan prácticas con reacciones que el alumno puede manejar sin peligro y puede observar el comportamiento químico del proceso.

En la gran mayoría de sus prácticas utilizadas en su laboratorio emplean reacciones que cumplen con los requisitos de nuestro planteamiento, realizándolas en un reactor semicontinuo tipo batch o lote. Siendo esta la justificación principal por lo cuál emplearemos un reactor semicontinuo tipo lote.

Los resultados obtenidos en sus prácticas no son del todo satisfactorios. El problema radica en su instrumentación utilizada para el control y otros aspectos; formulándonos que emplean :

a) Un control de temperatura mediante un reóstato. La mayoría de sus prácticas las realizan a una temperatura de reacción constante; observando un termómetro accionan manualmente el reóstato (conectado a una malla eléctrica que envuelve al reactor) incrementando o disminuyendo el valor de su resistencia para poder mantener la temperatura lo más cercana al valor constante de reacción. Con este movimiento del reóstato la temperatura constante de reacción nunca está en su valor predeterminado, llegando incluso en algunas ocasiones alcanzar una diferencia del más/menos 20% de su valor.

b) Un control de agitación a base de un campo inductivo. Este campo hace que gire un agitador dentro del reactor para homogenizar lo mas posible la mezcla de los dos reactivos. es decir, la reacción, el problema se sitúa en el número de RPM del agitador, no conociéndose la velocidad de giro y en ocasiones no se presenta una velocidad constante durante el desarrollo del proceso. Se tiene un botón de selección de velocidad pero se desconoce la velocidad preseleccionada, además existe mucha pérdida de este campo porque atraviesa la malla calefactora y así mismo el material con que esta hecho el reactor.

c) Respecto a la presión, la mayoría de sus prácticas la realizan a presión atmosférica, no existiendo problema alguno.

d) El flujo es un parámetro que ellos no controlan en su práctica, por que no existe la necesidad de controlarlo; pero la introducción de los reactivos la realizan manualmente, es decir, se vierte primero una cantidad específica de un reactivo al reactor mediante un vaso de precipitado o cualquier otro medio que pueda contener un volumen de reactivo, después se vierte la otra cantidad de reactivo a reaccionar mediante el mismo procedimiento (ambos reactivos han sido precalentados con anterioridad muy cercanos a la temperatura de reacción).

Durante el proceso en algunas prácticas se toman muestras pequeñas de la reacción mediante el uso de una jeringa que es introducida por una boquilla del reactor, dicha muestra se vierte en un contenedor pequeñísimo (0.01 ml) y es depositada en hielo para desacelerar la reacción y dar margen a ser analizada en un cromatógrafo. En otras terminado el tiempo de reacción, se toma al reactor y su producto es vaciado en un contenedor rodeado de hielo (desacelerar la reacción) para su posterior análisis. Esto trae como consecuencia, si no se toman las debidas precauciones, quemaduras de la persona que realiza este proceso.

e) Precalentamiento de los reactivos. Los reactivos se precalientan muy cercanos a la

temperatura de reacción y se vierten en el reactor esto con el fin de reducir el tiempo de reacción de nuestro producto. Este precalentamiento se realiza a través de un mechero de Bunsen, midiendo su temperatura con un termómetro; al estar próximos a la temperatura de reacción son trasladados hasta el reactor y vertidos en él, existiendo pérdidas debido a la transferencia de calor que se experimenta en su traslado, acto seguido se enciende la malla calefactora y el agitador y se procede a hacer la lectura del termómetro tratando rápidamente de establecer la temperatura de reacción y mantenerla.

f) Control de volumen constante, todos los vapores generados en el reactor son controlados por un condensador, en el cuál se realiza una circulación de agua fría. El problema radica en el uso del agua, no tienen su reciclaje, la toman directamente de la llave de laboratorio y es conectada al condensador, el flujo de agua se vuelve continuo; el agua que se sustituyó se descarga y ya no es recuperada, y este procedimiento se repite durante todo el tiempo que tarda la reacción, en ocasiones 20, 30, 45 y 60 minutos.

Ante estos problemas planteados nosotros decidimos realizar el diseño de un reactor que cubriera la mayoría de sus prácticas y automatizar los procesos de control que requiera, para poder lograr así un producto de mayor calidad y eficiencia, así mismo dar mayor modularidad a nuestro diseño de tal manera que una sola persona pueda programar y monitorear todo el proceso de producción salvaguardando un máximo de seguridad para el operador y personas que intervengan en su observación.

Para la realización de esta práctica, en el laboratorio de reactores de la facultad de Química de la U.N.A.M., se requieren por lo menos de tres personas que estén controlando y monitoreando este proceso, es decir, cinco personas para llevar a cabo la práctica lo más eficientemente posible.

2.3.2 Rangos de operación

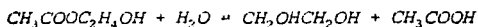
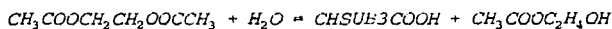
El laboratorio de ingeniería de reactores de la Facultad de Química, UNAM, como ya se mencionó anteriormente emplean reacciones en su mayoría que cumplen con las características citadas en el capítulo (2.3.1), realizadas en un reactor tipo lote, siendo esta la principal justificación del porque elegimos un reactor tipo lote.

La información que recibimos del laboratorio de ingeniería de reactores fue su primer práctica, la cuál se anexa en el apéndice.

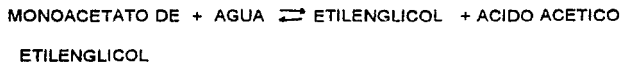
En la práctica otorgada observamos los siguientes parámetros y sus características de operación que a continuación se mencionan:

Reacción

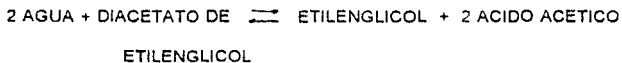
Hidrólisis del Diacetato de Etilénglicol (HDAEG). Es una reacción reversible y simultanea; su fórmula química es:



Es decir:



Se puede reescribir en forma general como:



Es una reacción de clase compleja, reversible, simultanea y de tipo endotérmica.

Hacemos énfasis en reacción reversible, lo cuál ya se explico con anterioridad en el capítulo 4.1.4, es reversible porque los dos reactivos a reaccionar se pueden volver a obtener de nuevo, por ejemplo si usamos como reactivos a) diacetato de etilenglicol y b) agua , al término de la reacción obtenemos una sola solución que al pasar por un proceso de destilación (el cuál no es nuestro enfoque) se obtienen a) ácido acético y b) monoacetato de etilenglicol, ahora bien, si usamos el producto como reactivos de entrada obtenemos una solución que al pasar por un proceso de destilación obtenemos los reactivos iniciales. es decir, a) diacetato de etilenglicol y b) agua; es por esto que la reacción se le llama reversible y se le denota por el símbolo en cualquier fórmula de reacción.

Es simultanea porque se realizan dos reacciones al mismo tiempo con la mezcla de dos reactivos únicamente, es por ello que durante el tiempo de reacción se tomen muestras cada minuto en cantidades de 0.01 ml.

Para observar las aplicaciones de los reactivos ver el apéndice anexo, únicamente se enlistan las aplicaciones de los reactivos utilizados en esta primer práctica.

TEMPERATURA DE REACCION

Temperatura constante de 80 °C .

TIEMPO DE REACCION

Es el tiempo que durará la reacción, igual a 30 minutos.

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO DE LOS REACTIVOS

Cercana a la temperatura de reacción, 79 °C,cada reactivo.

PRESION

Presión atmosférica.

CAPACIDAD DE PRODUCCION.

El volumen debe permanecer constante y es de 200 ml.

CATALIZADOR.

No existe en esta práctica el uso de un catalizador.

FASES COMPRENDIDAS

Líquida.

MODALIDAD DE CONTROL DE TEMPERATURA Y PRESION

Endotérmico.

FLUJO

No existe control de flujo, únicamente se vierten manualmente los reactivos y el producto.

La mayoría de las prácticas son realizadas bajo estos parámetros de operación, en algunas la temperatura de reacción se eleva a 120 °C .

RANGOS MAXIMOS DE OPERACION DE NUESTRO REACTOR

Nuestro reactor está diseñado para soportar los siguientes rangos de operación a una altura de 2250 m. al nivel del mar y con opciones a programar:

Temperatura de Reacción	120 °C.
Tiempo de reacción	255 minutos.
Temperatura de precalentamineto	100 °C.

Presión Presión atmosférica.

Capacidad de producción 500 ml.

Volumen de reactivos 250 ml cada uno.

Tipo de control de Temperatura

P (proporcional).

PI (proporcional-integral).

PID (proporcional-integral-derivativo).

Catalizador Uso de cualquier catalizador, empleado como reactivo.

Flujo No se controla el flujo específicamente, fluye a través válvulas eléctricas ON/OFF.

Fases Líquida

Modo de funcionamiento

Servicio: opción para dar limpieza de residuos a todo el proceso de producción.

Proceso: opción de producción del proceso.

Visualización de parámetros

Mediante un display de 20 caracteres por cuatro renglones.

Introducción de datos

Mediante un teclado.

Modularidad

En todo su ensamble para su fácil transportación y continuidad de operación.

Operación

Sencilla mediante la interacción hombre-máquina a través de un display y teclado.

Mantenimiento

Sencillo mediante su modularidad y fácil por su opción de servicio al proceso.

CAPITULO 3
CONSTRUCCION

3.1.1 PLANOS Y DIAGRAMAS ESQUEMATICOS .

Consultar el apéndice para ver los planos y diagramas de conexión.

3.1.2 MATERIALES DE CONSTRUCCION

MATERIALES ESTRUCTURA BASICA REACTOR:

CANTIDAD	DESCRIPCION
10 mts.	Perfil Aluminio cuadrado de 1", color natural.
1.50 mts.	Perfil ángulo de aluminio de 1".
5 mts.	Perfil ángulo aluminio de 1/2 ", color natural.
2 mts.	Solera acero de 1/2".
5 mts. ²	Lámina de acero # 14.
1 mts. ²	Lámina de aluminio 4 mm. grosor.
1 Kg.	Remaches aluminio de 1/8 "; uso general.
1/2 Kg.	Remaches aluminio de 3/16" , uso general.

MATERIALES ESTRUCTURA BASICA DE MODULO DE TARJETAS ELECTRONICAS:

CANTIDAD	DESCRIPCION
4 mts.	Perfil ángulo de aluminio de 3/4", color natural.
1 mts.	Perfil aluminio plano, color natural.
2 mts. ²	Acrílico de 4 mm. de grosor, color humo.
50 cm. ²	Acrílico de 7 mm. de grosor, transparente.

30	Pijas diferente tamaño y tornillos.
5	tabletas perforadas de cobre.

MATERIALES GENERALES:

CANTIDAD	D E S C R I P C I O N
1	Condensador 30 mm. (Kimex # 18150).
2	Vasos de precipitado de 250 ml. , con oliva adaptada al fondo.
1	Matraz de tres bocas esmeriladas 24/40, 500 ml. con oliva adaptada al fondo.
1	Válvula selenoide simple, dos vías, normalmente cerrada, 24 V DC., presión atmosférica, 170 ° C.
1	Válvula selenoide simple, dos vías, normalmente cerrada, 24 V d.c., presión atmosférica. 170 ° C.
1	Válvula selenoide simple, dos vías, normalmente cerrada, 110 V a.c., presión atmosférica, 170 ° C.
2	Spotts de 250 w. infrarrojos, 110 VAC.
2	Resistencias eléctricas de 300 w. , forma cilíndrica.
1	Bomba sumergible de 5 w., 110 VAC.
1	Motor de 24 V d.c.
1	Depósito con capacidad de 5 lts.

1	Depósito con capacidad de 500 ml
1	Flecha (eje) de transmisión. 1/16 " diámetro
2	Tapones de corcho del # 4 5
2 mts.	Tubo de acero inoxidable de 1/8 diámetro

2 mts.	Manguera latex de 3/8 diámetro.
3	Conectores macho de reducción de 1/2 " a 3/8 ", cónicos.
5	Niples machos de 3/8 ", cónicos.
6	Conectores hembra de reducción de 3/8" a 1/8", cónicas.
0.5 mts.	Tubo de acero inoxidable de 1/16 " de diámetro.
1	Biconector de reducción de 1/2 " a 3/8".
2	Soquets forma circular.
1	Agitador
2	Conectores machos de 3/16 ".
1	Base de material epóxico.
7	Clemas de 20 puntos.
1	conector hembra-macho de 20 puntos.

3.1.3 CONSTRUCCION

La estructura básica de nuestro reactor incluyendo la estructura de las tarjetas electrónicas presentada en el capítulo 3.1.1 se construyó conforme al plano y acotaciones presentadas. La estructura se diseño en tipo torre en ambos casos porque nos proporcionan las siguientes ventajas :

- a) Ahorro de espacio.
- b) Utilización de fuerza de gravedad , por ejemplo , al descargar los tanques de almacenamiento y el reactor no requerimos de una bomba.
- c) Ventilación.
- d) Flexibilidad.
- e) Comodidad de operación.
- f) Fácil mantenimiento.
- g) etc.

La forma de nuestra estructura básica del reactor se realizó con cortes de 45° y 90° dependiendo de la aplicación para dar forma a nuestra torre. Para formar la plataforma de nuestra base y darle forma rectangular se necesito cortar los extremos de nuestro perfil de aluminio de 1" con ángulo de 45 grados para formar así un ángulo recto. El ensamble entre ambos extremos se reforzó interiormente con solera de 1/2" doblada en forma de ángulo recto y remachada para formar así nuestra plataforma, en la cuál se levantará nuestra torre. De esta misma forma se realizó le polígono rectangular intermedio y superior.

Las columnas se realizaron con un corte recto en sus extremos para tener más área de apoyo al momento de ensamblar los polígonos rectangulares. Las uniones con los extremos de los polígonos rectangulares nuevamente se reforzaron con un ángulo recto de solera colocado y remachado interiormente en el perfil de aluminio, para formar así nuestra torre. Los seccionadores de nuestra torre llevan en sus extremos cortes de 45° y son de 1/2" , área suficiente donde descansará y se deslizará una lámina que llevará el material que se requiera en esa sección.

La estructura básica de tarjetas electrónicas se diseño y se construyó en forma similar a la estructura básica de nuestro reactor, a diferencia de que el perfil de aluminio de 3/4" se apoyo en el

acrilico. Las tarjetas electrónicas descansan en unriel dieléctrico y se colocan una en sima de la otra, con una separación aproximadamente de 3 cm. lo cuál nos permite una buena ventilación.

Las divisiones de nuestros departamentos en la estructura de nuestro reactor se hizo por medio de lamina de acero del número 14, suficiente para no permitir que se doble de acuerdo al peso que se requiera; se seleccionó el numero 14 porque esta lamina se disponia en casa, por tal motivo se le tuvo que aplicar el siguiente proceso:

- 1).- Dos aplicaciones de removedor de pintura.
- 2).- Tres aplicaciones de lija gruesa . para poder quitar las áreas de oxidación.
- 3).- Dos aplicaciones de lija de agua mediana para darle menor porosidad. En esta etapa las láminas fueron marcadas, perforadas, cortadas, etc. dependiendo de la sección en que se coloquen.
- 4) - Dos aplicaciones de lija de agua fina para abrillantar más la lámina. En el caso de las láminas que forman la cámara de reacción se dieron 5 aplicaciones para abrillantar a lo máximo y así poder aprovechar su poder de reflexión indispensable en el funcionamiento de la cámara de reacción que se detalla en el capítulo 3.2 así mismo acerca de los poderes caloríficos y de reflexión que posee un cuerpo consultar el apéndice.
- 5).. Una pulida para no permitir una pronta oxidación.

Una vez terminado el tratamiento de todas las láminas a ocupar se procedió a montarse. Las láminas que forman parte de la cámara de reacción fueron remachadas y quedaron en posición fija, excepto la que va en la parte anterior; otras fueron atornilladas.

Los conductos que transportan los reactivos y el producto final circula a través de tubería de acero inoxidable de 1/8", estos conductos en sus extremos se tuvieron que avellanar, es decir darle forma cónica, por que la conexión con las válvulas así lo requiere; de esta forma no se presentará fuga, teniendo cada conexión su par de apriete adecuado, ver fig. 3.1.3.1 .

En las rutas difíciles como es el caso de la conexión del reactor con la válvula de descarga del producto, se tuvieron que realizar en el tubo de acero inoxidable dos quiebres de 90 grados, esto se logró calentando el tubo al rojo vivo mediante un soplete.

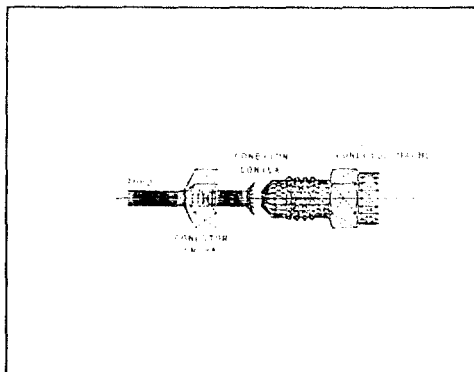


fig.3.1.3.1 Conexión cónica.

Para facilitar y hacer nuestra construcción modular, se hizo una instalación eléctrica de conexión tipo A, es decir, todas los cables de control y de fuerza se unen en clemas de cada sección y estas a su vez se unen en a otras situadas en la división de identificación de clemas, físicamente se localiza en la parte anterior e inferior de nuestra estructura del reactor; estas tienen sus leyendas en un costado para poder identificar fácilmente que punto de la clemas se conecta al dispositivo que actúa o controla. Este tipo de conexión nos proporciona una gran versatilidad de nuestra automatización, facilitando el mantenimiento preventivo y correctivo, así mismo tenemos una gran modularidad para ensamblar y desmontar todos nuestros instrumentos y accesorios. En los procesos químicos de reacción no se recomienda suministrar la energía de reacción ¹ por radiación, debido a que existen muchas pérdidas de calor, es decir, la transferencia de calor hacia el medio ambiente es muy grande, lo ideal es que todo el calor sea absorbido en el reactor. En el laboratorio de reactores de la facultad de Química, U.N.A.M., utilizan como fuente calorífica una malla de resistencia que cubre la mitad del reactor, como se muestra en la fig. 3.1.3.2, en este caso el calor es suministrado por convección (contacto), existiendo pérdidas aproximadamente del 60 % del calor suministrado.

¹Energía de reacción es el calor suministrado al reactor por medio de una fuente calorífica para iniciar la reacción.

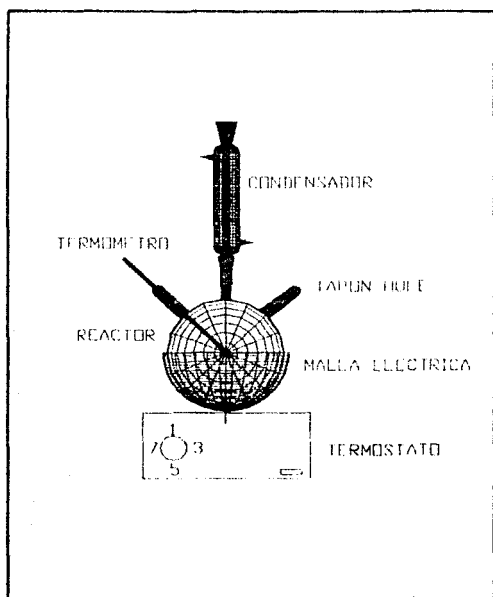


fig. 3.1.3.2. Reactor Químico

Nuestro diseño ante este problema se basa en suministrar el calor por radiación, nuestra innovación fue encaquetar nuestra fuente calorífica (dos spotts de 250 w) junto con el reactor, a lo que nosotros llamamos cámara de reacción , ver fig. 3.1.3.3 .

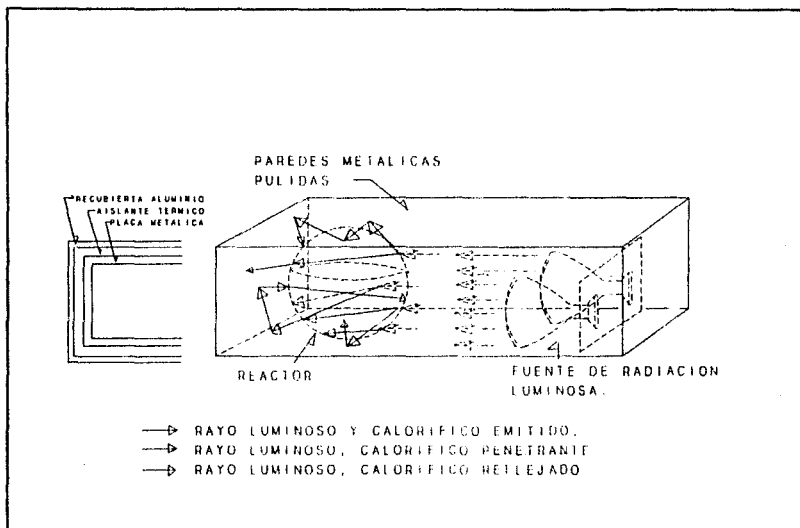


Fig. 3.1.3.3 Cámara de Reacción.

La cámara de reacción tiene la forma de un prisma rectangular; internamente esta formada por paredes (láminas brillosas) totalmente púldas para poder reflejar a un máximo y absorber a un mínimo los rayos luminosos que emite la fuente calorífica, (para más detalles que no entran en este capítulo ver la sección 3.2 funcionamiento de la cámara de reacción) externamente se encuentra recubierta por aislante térmico y forrada por una capa de papel aluminio, de esta manera la transferencia de calor con el medio ambiente se redujo de un 60% a un 20 % del calor suministrado y logrando al mismo tiempo romper con la tradición no recomendable de suministrar calor por medio de radiación.

Los precalentadores utilizados son de forma cilíndrica que cubren el 75 % de la altura de nuestros tanques de almacenamiento, ver fig. 3.1.3.4 , siendo en este caso el suministro de calor por radiación y convección, logrando de esta manera alcanzar en un tiempo menor la temperatura de reacción (aproximadamente 40 % menos que el tiempo utilizado por el mechero de bunsen).

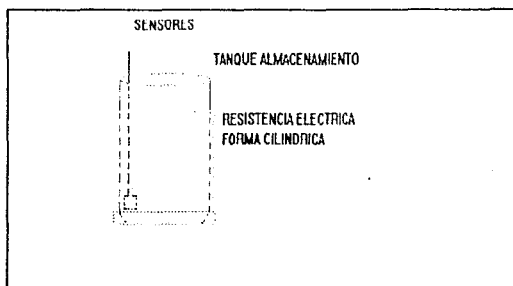


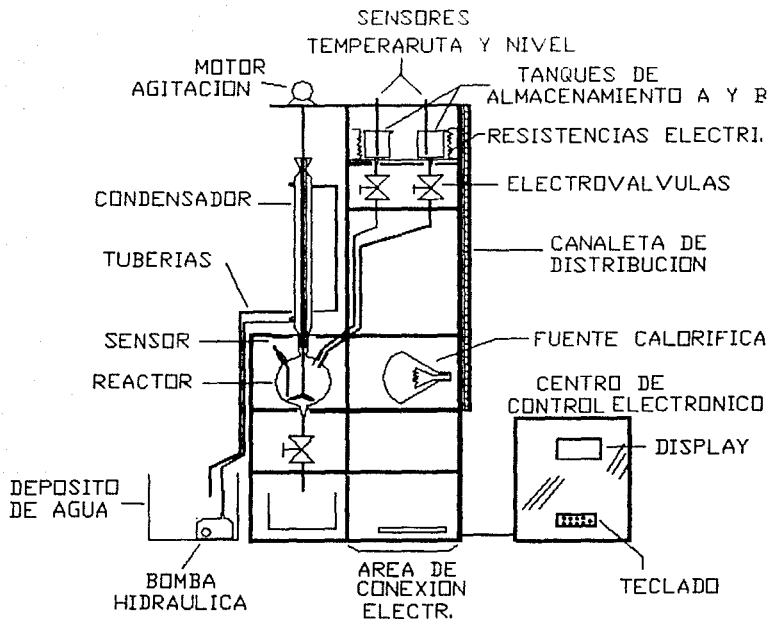
fig. 3.1.3.3 Precalentadores.

Los tapones de corcho desempeñan dos funciones:

- 1).- Acoplamiento de tuberías de alimentación, sondas y toma de muestras a las bocas esmeriladas del reactor, se utilizó corcho porque soporta una temperatura de 180°C .
- 2).- Como su nombre lo indica. tapón para no permitir que los vapores generados durante la reacción se fugen por las bocas esmeriladas, manteniendo así y con ayuda del condensador el volumen de la reacción constante.

3.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO

La fig. 3.2.1 es una representación esquemática de nuestra miniplanta piloto. Muestra el funcionamiento de las diferentes direcciones del flujo y los instrumentos utilizados para la automatización de este proceso de reacción química llamado: " Hidrólisis del Diacetato de Etilenglicol ".



El funcionamiento de la miniplanta piloto se describe a continuación:

Al encender nuestro sistema, inmediatamente interactúa el diálogo hombre-máquina, es decir, la comunicación que tiene el operador con la miniplanta piloto. Esta comunicación se realiza a través de un display y un teclado (para más detalle del control del funcionamiento consultar el capítulo 6).

El display es el dispositivo electrónico encargado de visualizar el estado de los diferentes parámetros como lo son: tiempo de reacción, temperatura de reacción, temperatura de precalentamiento, etc. durante el tiempo que dura el proceso.

El teclado es el medio por el cual se suministran y se modifican los valores de los diferentes parámetros que intervienen en el proceso.

Tras haber descrito el diálogo hombre-máquina e inicializar nuestro sistema se manda una señal a nuestras válvulas para resetear su estado en que se encuentran y de esta manera asegurar que se encuentran cerradas antes de iniciar cualquiera de las dos funciones que tiene nuestro sistema:

1).- Servicio

2).- Proceso

SERVICIO:

El servicio se refiere a dar una limpieza a todos los ductos por donde circulan los reactivos y el producto final, al mismo tiempo se limpian principalmente de polvo las válvulas, los tanques de almacenamiento, el reactor, el condensador y tuberías.

La limpieza se realiza con pura agua que es depositada en los tanques de almacenamiento y en el depósito de agua para la bomba. Se acciona la bomba y se abren las válvulas de los tanques para permitir la circulación de agua, posteriormente se abre la válvula del reactor para descargar el agua y vaciar los depósitos. Todo este proceso es automático y se realiza por secuencia. terminado este proceso, en el display se nos pide otra vez que función queremos que realice el sistema.

PROCESO:

Se refiere en si al funcionamiento del proceso de producción .

Tras haber descrito el diálogo hombre-máquina y suministrado los valores de los parámetros que intervienen en el proceso, en primer lugar nuestro sistema sensa el nivel mínimo de reactivo en los dos tanques de almacenamiento, si este nivel es inferior en alguno de los dos tanques nuestro sistema manda un aviso por el display y nuestro proceso no puede continuar, logrando de esta manera una medida de seguridad; por el contrario si nuestro nivel es adecuado y nuestros sensores de temperatura en los tanques de almacenamiento sensan una temperatura menor a la temperatura de precalentamiento inmediatamente se encienden los dos precalentadores (resistencias eléctricas cilíndricas) para llevar nuestros dos reactivos hasta la temperatura de precalentamiento que es muy cercana a la temperatura de reacción.

Posteriormente nuestros precalentadores actúan y cuando los dos sensores de temperatura ubicados cada uno en los tanques de almacenamiento llegan ambos a sensar la temperatura de precalentamiento se abren las dos electroválvulas respectivamente para descargar los reactivos al reactor. Como los dos reactivos en este caso, reactivo A = Agua y reactivo B = Diacetato de Etilenglicol (DAEG), ambos poseen diferentes propiedades químicas y físicas (punto de ebullición , densidad) es lógico de pensar que un reactivo llegará primeramente a la temperatura de reacción². Cuando un reactivo llega primero a la temperatura de precalentamiento no se abre la válvula pero si se apaga el precalentador y por transferencia de calor nuestra temperatura desciende lo que obliga al precalentador volver a encender y de esta manera mantiene la temperatura de precalentamiento hasta que el otro reactivo llega a la misma temperatura, cuando esto sucede se apagan los dos precalentadores y se abren las electroválvulas durante un determinado tiempo (10 seg) suficiente para vaciar ambos reactivos al reactor.

También cuando se tiene el nivel de reactivo y temperatura adecuado, aparte de encenderse los precalentadores, casi al mismo tiempo que se enciende los sports del reactor para empezar a

²Considerando que a ambos reactivos se suministra la misma cantidad de calor, tal es nuestro caso.

calentar la atmósfera de nuestra cámara de reacción reduciendo de esta manera pérdidas de calor al momento de llegar nuestros dos reactivos al reactor, lo ideal sería que nuestros dos reactivos llegasen al reactor con temperatura casi igual a la de reacción e inmediatamente iniciar la reacción.

Después de descargar los dos reactivos nuestra bomba de agua empieza a funcionar para llenar el condensador y recircular el agua todo el tiempo de reacción para evitar que los vapores generados durante la reacción se evaporen. El agua bombeada es fría para lograr una mayor condensación y mantener nuestro volumen de producción constante todo el tiempo del proceso.

Cuando los dos reactivos se descargan en el reactor inmediatamente empieza a funcionar nuestro agitador para homogenizar la mezcla y empezar nuestra reacción durante todo el tiempo de reacción (30 min.), simultáneamente nuestro sensor de temperatura de reacción, ubicado dentro del reactor continuamente esta sensando la temperatura y mandando señales a nuestra fuente calorífica, la función principal es mantener la temperatura de reacción constante (80 ° C) durante el tiempo de reacción. Esto se logra a través de las señales que manda nuestro sensor y dependiendo de la temperatura que registre nuestra fuente calorífica suministrará más o menos calor al reactor hasta lograr estabilizar la temperatura registrada .

Nuestra fuente calorífica esta formada por dos spots, ambos funcionan al mismo tiempo pero no a toda su potencia, a tal grado de que si una de ellos se llega a dañar durante el proceso el otro trabaja al doble para compensar la pérdida de energía y de esta forma mantener siempre la temperatura de reacción constante. La válvula de descarga de producto final se abre cuando ha transcurrido el tiempo de reacción establecido.

Nuestro análisis del producto requiere analizar muestras de 3 ml. cada 1.5 minutos durante todo el tiempo de reacción, esto se puede realizar a través de la válvula de descarga de producto final, pero no se recomienda porque si se realiza de esta forma el volumen ya no se mantendría constante e interactúan reacciones secundarias; por lo que se dejó una sonda para introducir una jeringa y tomar la muestra necesaria de la misma forma que se realiza en el laboratorio de reactores, ya mencionado anteriormente; una vez tomada la muestra se pone en hielo para desacelerar la reacción y se analiza en un cromatografo de gases, el cuál nos proporcionara información del estado químicos que sufre

nuestra reacción por medio de la muestra analizada, si recordamos un poco nuestra reacción es reversible y simultanea, este proceso se describió en el capítulo 1.3 y capítulo 2.3.1, es por ello que se toman muestras cada 90 segundos y se analizan.

Cuando se descarga nuestro producto final, se apaga : la fuente calorífica, la bomba, el agitador y posteriormente se cierra nuestra válvula. En nuestro display leemos un mensaje que dice: " proceso terminado " y nos pregunta si queremos hacer otro proceso o dar servicio de limpieza a nuestra miniplanta piloto, elegimos la opción y si no es ninguna apagamos nuestro sistema.

FUNCIONAMIENTO CAMARA DE REACCIÓN.

El funcionamiento de la cámara de reacción se basa en los principios de las leyes de reflexión de la luz, descritas en el apéndice. Su función principal es semejarla a una caja endotérmica, es decir, que el calor generado dentro no sufra pérdidas con el medio ambiente.

Esta formada interiormente por paredes totalmente lisas y brillosas con la finalidad de poder reflejar a un máximo todos los rayos de luz que inciden en ella como se muestra en la fig. 3.1.3.3 en la parte inferior.

El rayo de luz que emite nuestra fuente calorífica es infrarroja, porque esta luz no produce reacciones secundarias en nuestro proceso. El rayo de luz calorífico al chocar con algún cuerpo dentro de la cámara de reacción, en este caso el reactor y las paredes se descompone en dos rayos: a) un rayo penetrante (absorbido) y b) un rayo reflejado. El rayo reflejado a su vez vuelve a chocar con un cuerpo y se vuelve a descomponer en dos y así sucesivamente: el rayo penetrante o absorbido se manifiesta mediante calor y cada vez que un rayo choca con nuestro reactor va produciendo que nuestra reacción absorba esa energía. Para finalidad de nuestros intereses se trata de reflejar a un máximo y absorber a un mínimo en nuestras paredes (púldas y lisas) y por lo contrario reflejar a un mínimo y absorber a un máximo en nuestro reactor , para producir de esta manera un calentamiento por radiación muy eficiente.

SENSORES DE TEMPERATURA Y ACTUADORES

Según las especificaciones que se plantearon en un principio y la descripción del funcionamiento del sistema, se advierte que es necesario medir variables como temperatura y nivel de líquido.

En primer lugar describiremos el circuito empleado para medir temperatura.

Se han desarrollado muchas formas de medir la temperatura a un objeto y como consecuencia el número de dispositivos sensores se ha incrementado.

Se disponen de tres tipos de sensores de temperatura:

- a) Termistores
- b) Termopares
- c) Diodos y transistores

Para la selección del sensor más apropiado, se decide que el circuito debe acercarse lo más posible al comportamiento lineal, sensar en un rango de 0 a 100 grados centígrados y tener un bajo costo. Con estas condiciones, los termopares son los primeros en ser descartados dado que su rango de operación es considerablemente mayor, su respuesta es no-lineal y su costo es mayor que las opciones restantes.

Siguieron los termistores, que son, a primera vista, la mejor de las alternativas, ya que son dispositivos baratos, su rango de operación es muy amplio y variado, pero su respuesta es del todo no-lineal. Esta no-linealidad puede ser corregida usando una red logarítmica, como se muestra a continuación:

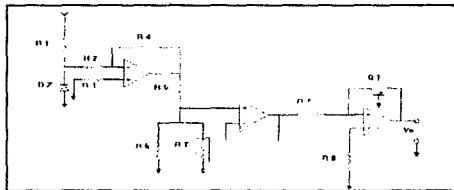


fig. 4.1 Red logarítmica

El voltaje de salida de este circuito es:

$$V_o = -k \log_{10} \frac{V_i}{V_{ref}}$$

El circuito anterior da por hecho que la respuesta del termistor es exponencial, lo que es generalmente cierto, es decir, su comportamiento se puede modelar en base a una función exponencial; pero el cálculo de las resistencias del circuito depende directamente del comportamiento real del termistor. Como no se disponen de las tablas características de los termistores y que se requiere de un proceso cíclico de ajuste para obtener la red más adecuada, se descartó el uso de este tipo de sensor.

Los dispositivos sensores de temperatura de estado sólido disponibles son: 1°.- 1N914 diodo de silicio militar y 2°.- LM35 sensor de temperatura. Es necesario realizar algunas pruebas a los sensores para determinar su comportamiento a cambios de temperatura y con ésto elegir el dispositivo que más nos convenga.

Los circuitos de prueba así como los resultados de las pruebas se muestran a las siguientes páginas.

Como se puede observar en la gráfica¹ 4.1, el sensor LM35 presenta la mejor respuesta a las variaciones de temperatura.

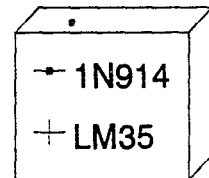
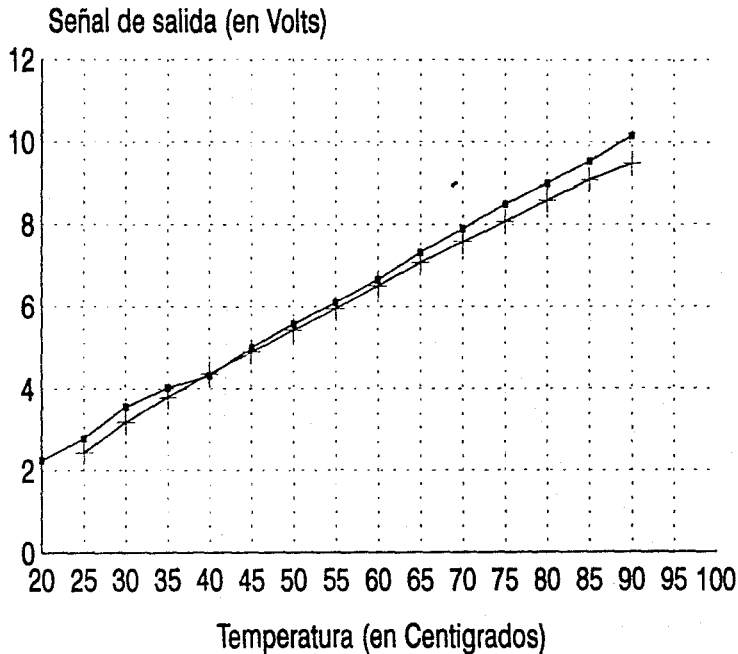
Una vez seleccionado el sensor, debe diseñarse el circuito que permita obtener de éste, la señal adecuada que será manejada por el sistema de control. El esquema del circuito se muestra en la figura 4.2.

La implementación del circuito esta basada en el amplificador operacional (Amp.Op.) TL084. El sensor de temperatura varía su voltaje de salida con la temperatura. Para extraer la variación correspondiente de voltaje del sensor se conecta un Amp.Op. como diferenciador: la gráfica 4.3 muestra la configuración así como su ecuación de salida

¹La gráfica se genera con los datos obtenidos en la tabla adjunta a la misma. Se realizaron 10 mediciones de las cuales sólo se presentan en la tabla los promédios y las incertidumbres correspondientes a cada medición.

SENSORES DE TEMPERATURA

Característica de voltaje vs. temperatura



Circuito de prueba para el 1N914

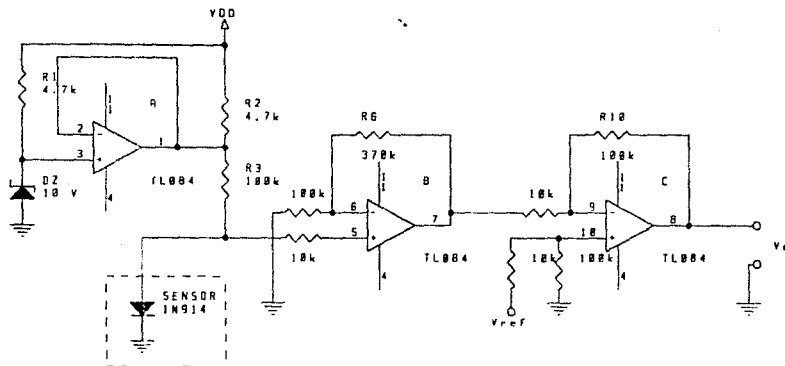


Tabla de resultados

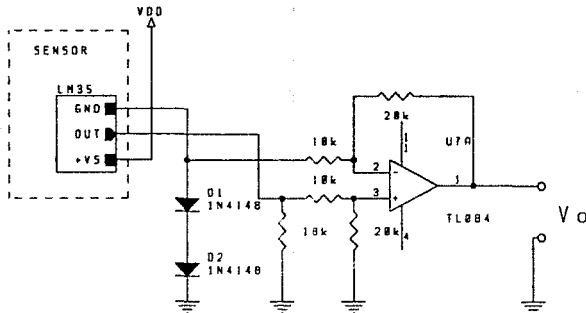
Temperatura	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	92	Incertidumbre
Voltaje (V) promedio	2.25	2.75	3.55	4.02	4.31	5.0	5.57	6.10	6.64	7.30	7.89	8.49	9.0	9.53	10.17	10.33	-- 0.456

Numero de muestras = 10

Size	Document Number	IPRB	Rev
A			
Date:	May. 5, 1993	Sheet	of

Circuito de prueba para el sensor LM35

tabla de resultados



Temperatura	Voltoje Vo
25	1.22
30	3.18
35	3.75
40	4.36
45	4.98
50	5.42
55	5.95
60	6.49
65	7.05
70	7.57
75	8.06
80	8.59
85	9.08
90	9.48
92	9.59
Incertidumbre	+ - 0.19

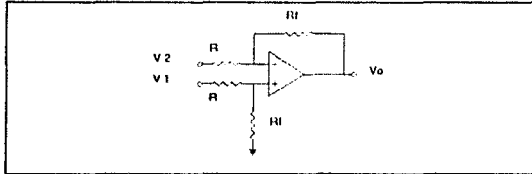


Fig. 4.3 Diferenciador analógico.

$$V_o = \frac{R_f}{R} (V_1 - V_2)$$

Según la ecuación anterior el voltaje de salida del primer Amp.Op. es

$$V_{c1} = \frac{10k}{1k} (V_+ - V_-) = 10 (V_+ - V_-)$$

lo que significa que en esta etapa, aparte de restar las entradas, se aplica un factor de amplificación de 10 permitiendo que las variaciones a la salida sean del orden de volts (el rango de variación de voltaje del sensor es del orden de 0.1 V).

El siguiente Amp.Op., el cual tiene la misma configuración descrita, permite ajustar la señal de salida en un valor determinado, es decir, calibra la lectura de voltaje.

Observe que la ganancia de voltaje de ésta etapa es

$$V_{o2} = \frac{10k}{20k} (V_{c1} - V_{ref}) = \frac{1}{2} (V_{c1} - V_{ref})$$

El valor de esta ganancia se debe a que el máximo voltaje que se puede suministrar al convertidor analógico-digital del microcontrolador es de 5 V y como el máximo nivel de temperatura que se puede sensor es de 100 grados centígrados, que corresponde a 10 V a la salida de la primer etapa, la ganancia de 1/2 disminuye el nivel a 5 V para 100 grados, sin perder linealidad.

En el capítulo 6 se hace un análisis detallado del comportamiento del circuito sensor y la relación

con el convertidor A/D a que será conectado.

Los resultados de las lecturas finales del circuito desarrollado se muestran a continuación. La calibración se hizo al tomar como referencia agua en ebullición y un termómetro de mercurio que registra 92 grados centígrados en ésta condición.

ACTUADORES

El sistema desarrollado requiere de diferentes tipos de actuadores, cada uno de los cuales permite controlar la variedad de dispositivos de potencia que se utilizan. Según la descripción del sistema se tiene:

- 1.- Dos resistencias térmicas tipo aro, de 127 V @ 300 W cada una.
 - 2.- Dos spots de 127 V @ 250 W cada uno.
 - 3.- Tres valvulas de paso, 2 de 12 V d.c @ 0.8 A y una de 127 V a.c. @ 0.8 A
- 1.- Resistencias térmicas. Estos dispositivos deben ser activados o desactivados según una señal de control con nivel TTL.

El primer paso es calcular el valor de la corriente que circula por la resistencia al ponerla en operación:

$$P = VI \cos \theta$$

como la carga es resistiva el factor de potencia es de 1

$$I = \frac{P}{V} = \frac{300W}{127V_{RMS}} = 2.362A_{RMS}$$

El circuito que nos permite realizar el control de la corriente suministrada a las resistencias es:

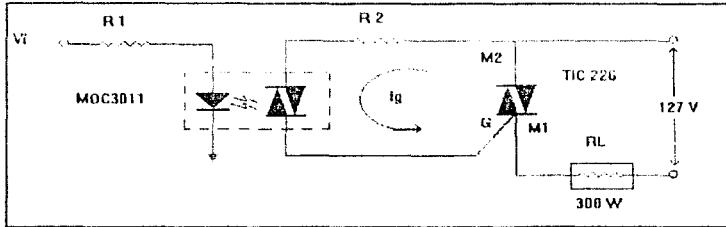


Fig. 4.4 Etapa de potencia de los dispositivos de a.c.

Se escogió el TIC226 ya que tiene una capacidad de corriente de 8 A rms y el procedimiento para calcular R2 es el siguiente. Como datos tenemos:

Del TRIAC

$$I_g = 15 \text{ mA (corriente mínima para disparar el TRIAC)}$$

$$V_g = 0.9 \text{ V (Caída de voltaje de la compuerta a la terminal M2 cuando se enciende el TRIAC)}$$

Del optoacoplador

$$V_{F(on)} = 1.3 \text{ V @ } 100 \text{ mA (diferencia de potencial entre las terminales del optotriac cuando éste se enciende).}$$

$$I_{FP} = 14 \text{ mA (Corriente mínima de encendido)}$$

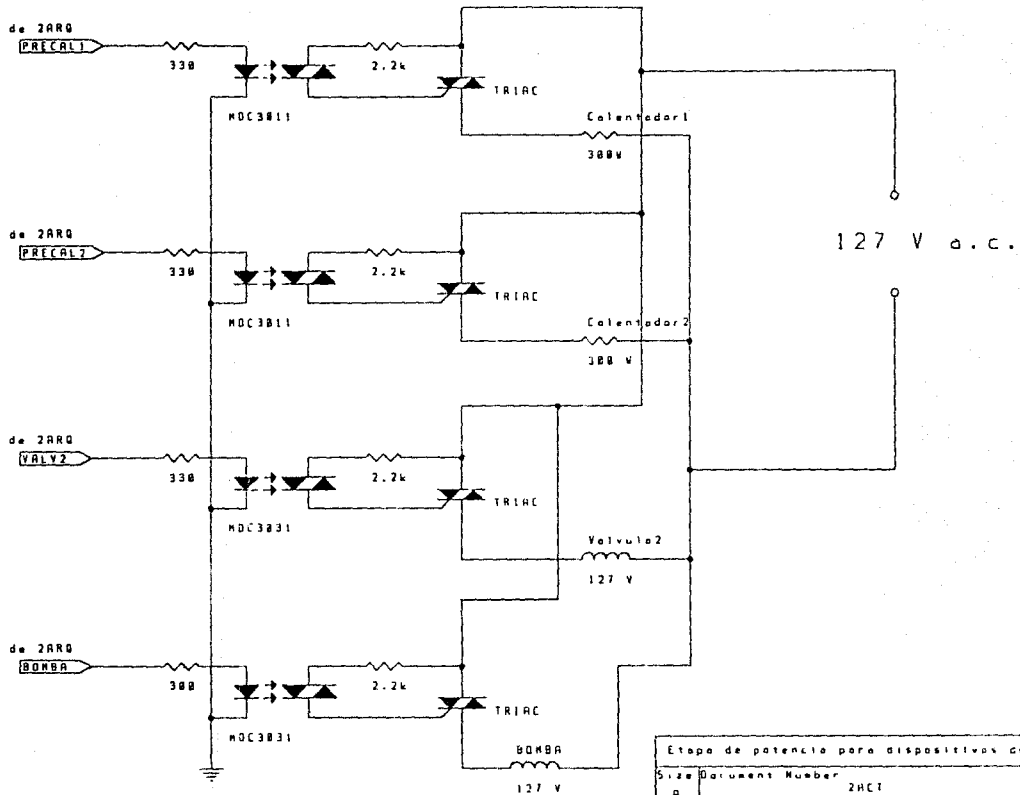
haciendo la ecuación de malla

$$V + V_g + V_{F(on)} + i_g R_2 = 0$$

$$R_2 = \frac{V - V_g - V_{F(on)}}{i_g}$$

$$R_2 = \frac{127_{rms} - 0.9 - 1.3}{15 \text{ mA}} = \frac{180_{Vp} - 0.9 - 1.3}{15 \text{ mA}} = 11.85 \text{ k}\Omega$$

Al final la resistencia seleccionada es de 2200 ohms @ 1 W mínimo.



Etapa de potencia para dispositivos de a.c.

Size	Document Number	REV
A	2HCT	
Date:		July 2, 1993 Sheet 1 of 1

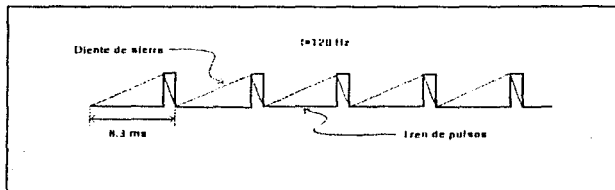
2.- El actuador para los spots resulta ser mucho más complejo que el descrito con anterioridad.

Sus características de diseño son:

- 1.- Capacidad para manejar dos spots de 250 W en paralelo.
- 2.- La intensidad de los focos debe ser controlada por medio de una palabra digital de 8 bits.
- 3.- Rango de disparo del TRIAC de 180° .

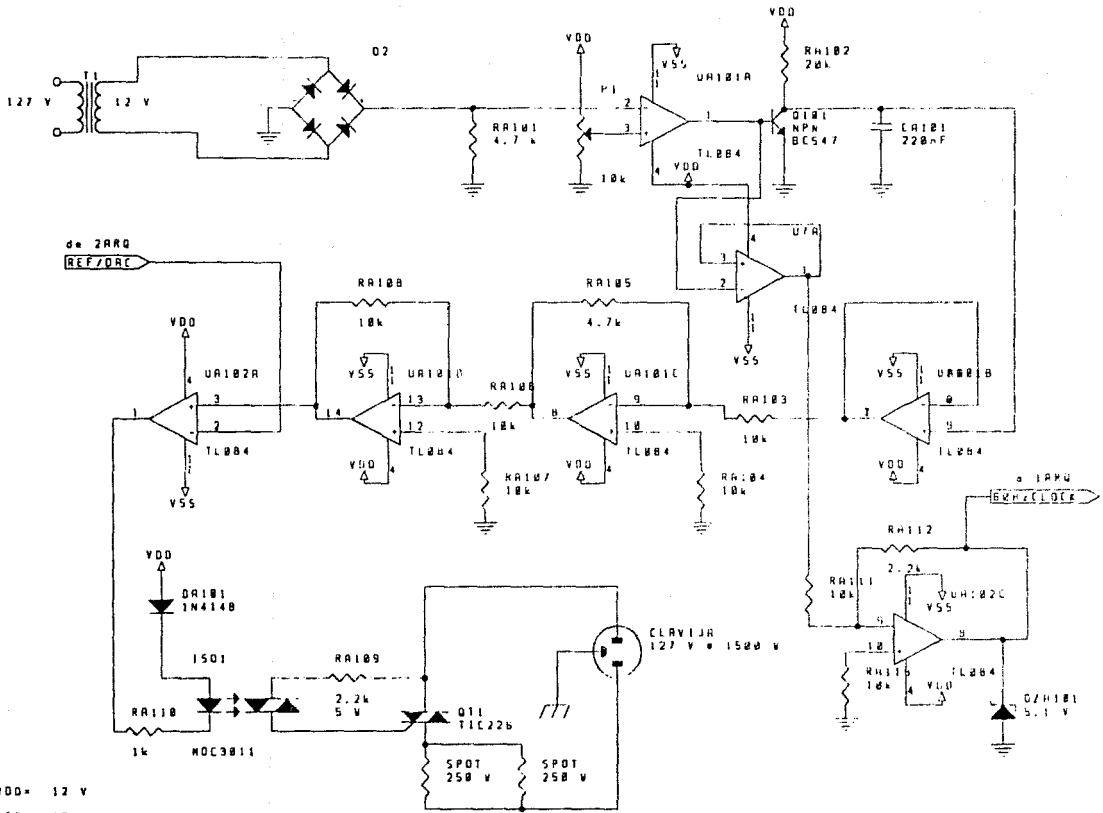
El esquema del circuito implementado se muestra en la figura 4.5. En principio se cuenta con una señal alterna de 12 V representada por el transformador de 127 a 12 V. Esta señal permite sincronizar el disparo del TRIAC con la señal de control. Como se requiere un ángulo de disparo de 180° en ambos sentidos (lóbulo positivo y lóbulo negativo) es necesario duplicar la frecuencia de la señal de referencia con un puente de diodos. La salida del puente se conecta a un comparador, implementado por un Amp.Op., el cual genera una señal cuadrada de 120 Hz. Con el potenciómetro conectado a la otra terminal, se ajusta el ciclo de trabajo de la señal cuadrada. El potenciómetro debe ajustarse para obtener el menor ciclo de trabajo. La salida del Amp.Op. se conecta a la base de un transistor TBJ (BC547), el cual, en su colector tiene conectada una malla RC que genera la señal triangular requerida para la siguiente etapa.

La red RC se ha calculado considerando que la señal es de 120 Hz y se requiere una rampa en cada ciclo:



Para el cálculo se considera un tiempo de subida de 4.165 ms (ciclo de trabajo del 50%) dado que el valor real del ciclo es desconocido. De esta manera para la red RC tenemos:

$$\tau = RC$$



VDD = 12 V
 VSS = -12 V

DIMER/PARTIE ANALOGICA		
Size	Document Number	REV
A	101KMER	
Date:	July 2, 1993	Sheet 1 of 2

$$R = \frac{\tau}{C}$$

$$R = \frac{4.165 \text{ ms}}{0.22 \mu\text{F}} = 18.9 \text{ k}\Omega$$

El valor final de RC es:

$$R = 22 \text{ k ohms}$$

$$C = 0.22 \text{ micro F}$$

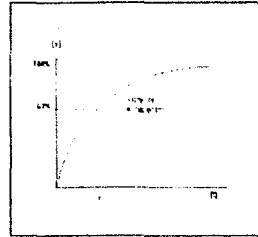


fig. 4.6 Respuesta en tiempo de la red RC

La red RC funciona de la siguiente manera: cuando el nivel de voltaje en el transistor es bajo, la juntura base-emisor se polariza en inversa, a la vez que la juntura colector-emisor en directa, lo que provoca que el transistor se corte permitiendo que el capacitor se cargue a través de la resistencia. La carga continúa hasta que el nivel de voltaje en la base del transistor cambia a un nivel alto. El cambio de voltaje hace que el transistor se sature, provocando que el capacitor se descargue rápidamente a través de él. Se forma entonces una señal diente de sierra. Para evitar que las siguientes etapas afecten las características de la red, un Amp.Op. en configuración de seguidor se conecta a la salida de la malla RC. La salida del seguidor se conecta a otro Amp.Op. que atenúa la amplitud del diente de sierra, ajustándola a un valor aproximado de 5 V máximo. El cambio de fase es un efecto inherente de la configuración empleada. Para recuperar la fase, se hace pasar la señal obtenida por otro inversor con ganancia unitaria, que regenera la señal y nos presenta valores de 0 a 5 V en fase.

Una vez obtenido el diente de sierra apropiado, el siguiente paso es generar la señal cuadrada que permite controlar el disparo del TRIAC. Para ello se ha dispuesto de un Amp.Op. como comparador; en su entrada no-invertida se ha conectado el diente de sierra de 120 Hz, y en la entrada invertida se conecta la señal de salida de un convertidor digital/analógico.

Como se puede observa en el diagrama titulado 2ARQ del capítulo 6 el circuito del convertidor esta basado en el DAC-08 y un Amp.Op. a la salida, con un potenciómetro de 10k, con el cual se puede modificar la amplitud de la salida del convertidor. Se debe ajustar el potenciómetro para que a la salida se tenga un nivel de voltaje de 5 V cuando la entrada digital sea FF_{hex} .

La salida de este último Ámp.Op. es una señal cuadrada que varía su ciclo de trabajo según la palabra digital a la entrada del convertidor. Esta señal activa en nivel bajo, a la diodo emisor de luz del optoacoplador (MOC3011) A partir de éste punto el análisis es idéntico al circuito desarrollado en el punto anterior.

Note que la carga en el TRIAC es de 500 W, lo que nos da una corriente de 3.93 A_{rms}. Para esta corriente el mismo tipo de triac se puede utilizar.

3.- Por último, los circuitos de las válvulas, de la bomba y del agitador son como sigue:

Al presentarse en el ánodo del LED del optoacoplador 4N37 un nivel alto, se excita la base del transistor de salida permitiendo que fluya corriente hacia la base del transistor de potencia (TIP41), poniéndolo en saturación y haciendo que la corriente pueda fluir a través de la carga.

Cuando se deja de excitar al diodo, los dos transistores de salida se cortan. En este momento se interrumpe la corriente en las terminales del transistor y la carga produce un pico de alto voltaje (por efecto de la carga inductiva). Es aquí donde el diodo zener interviene, "amarrando" el voltaje en las terminales a su "nivel zener". Una vez descargado el inductor, la rama se estabiliza.

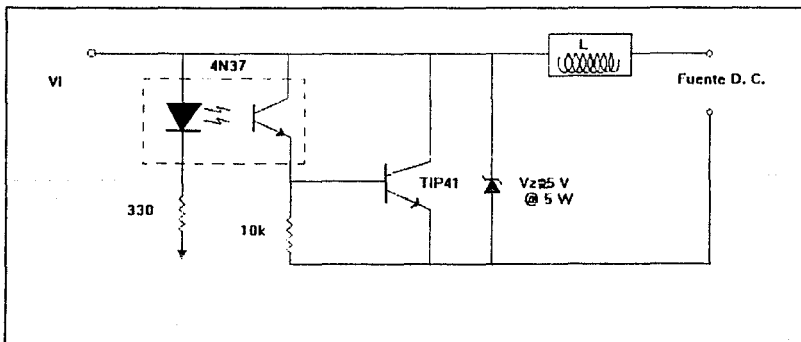
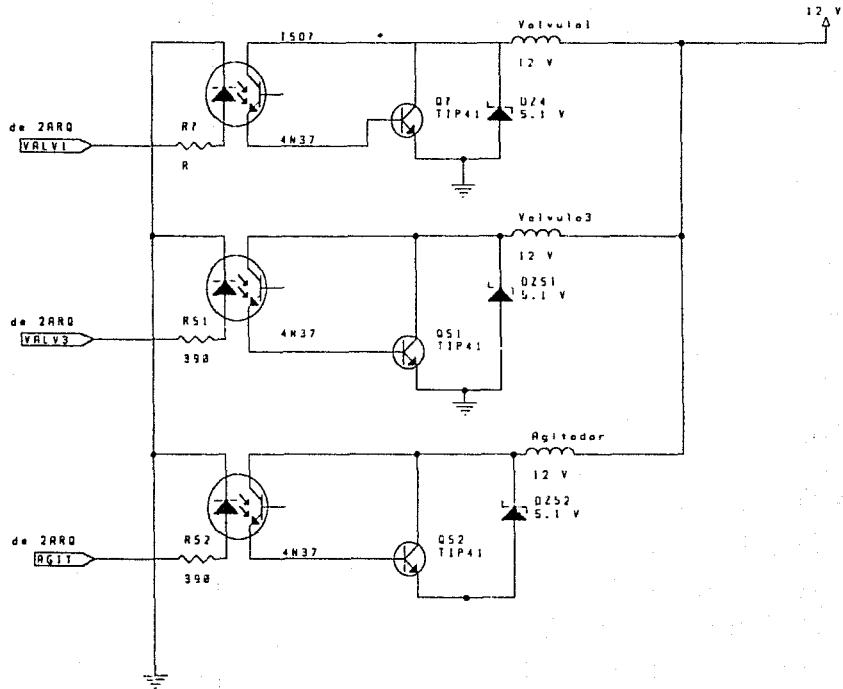


fig. 4.7 Etapa de potencia para dispositivos de d.c.



Etapo de potencia para dispositivos de d.c.			
Size	Document Number	REV	
A	1R01		
Date:	July 2, 1993	Sheet	01

CAPITULO 5

MODELADO DE LA PLANTA

Un sistema de control se puede exponer de la siguiente forma. El sistema físico o proceso esta controlado de forma precisa mediante una operación de control de lazo cerrado o retroalimentación. Una variable de salida llamada respuesta, se ajusta adecuadamente mediante una señal de error. La señal de error es una medida de la diferencia entre la respuesta deseada y la señal real. Generalmente es necesario un control o filtro para procesar la señal de error que satisfaga las especificaciones o algunos criterios de control. Estos criterios deben implicar, pero no quedan limitados a:

- 1.- Rechazo a perturbaciones.
- 2.- Errores estacionarios.
- 3.- Respuesta transitoria.
- 4.- Sensibilidad a cambios de parámetros en la planta.

La resolución del problema de control generalmente asocia los siguientes aspectos:

- 1.- Escoger sensores, actuadores y elementos finales de control requeridos para trabajar sobre la planta.
- 2.- Desarrollar los modelos (ecuaciones) de la planta, sensores, actuadores y elementos finales.
- 3.- Diseñar el controlador basado en los modelos matemáticos desarrollados en los criterios de control y la experiencia en el campo.
- 4.- Evaluar analíticamente el diseño mediante simulación.

La ilustración fig. 5.1 representa el sistema de control empleado en la planta. Su funcionamiento se basa en un microcontrolador que, entre otras funciones, representa el compensador dentro del sistema. La señal de error la calcula internamente el *micro*, al restar la palabra digital de 8 bits proveniente del convertidor analógico-digital (CAD) conectado a la salida del sensor, con el correspondiente valor de referencia (temperatura de reacción) preestablecido por el usuario a través de un teclado.

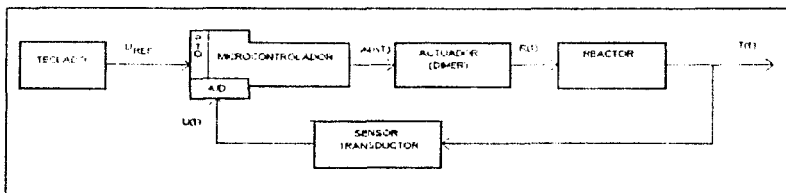


fig. 5.1 Malla de control principal

Existe un segundo control de temperatura, el cual se encarga de precalentar los reactivos que se encuentran en los tanques iniciales. Se ha determinado que el control en esta malla debe ser un control ON/OFF dado que no se requiere extrema precisión en el precalentado

En párrafos anteriores se sugirieron cuatro pasos para resolver el problema de control de una planta. El primero de ellos se refiere a la selección de los sensores y actuadores de la planta, mismos que ya han sido definidos y caracterizados en la sección correspondiente a SENSORES Y ACTUADORES, por lo cual a continuación se desarrolla el 2º punto.

Modelado de la Planta

La dificultad de predecir el comportamiento de una reacción química hace que la fabricación de un reactor químico sea una tarea muy complicada. En una reacción intervienen un gran número de variables, que en muchos de los casos se desconoce su valor real. El procedimiento de obtención del modelo matemático que representa a una reacción química comienza con un estudio preliminar y nivel laboratorio para obtener de manera experimental los datos necesarios para el estudio la reacción en proceso.

En el caso del reactor aquí diseñado, la reacción que se lleva al cabo no es la acepción, es decir, no se dispone de los datos necesarios para poder desarrollar un modelo matemático confiable que nos permita simular el comportamiento de la reacción. Es por esto que no fue posible deducir teóricamente

el sistema de control de temperatura. En su lugar se ha planteado un algoritmo de control digital PID basado en su correspondiente analógico. Como referencia la realización del control discreto es:

$$m(k) = K_p e(k) + K_i m_i(k) + K_d m_d(k)$$

Los términos correspondientes al integrador y diferenciador son:

$$m_i(k) = \frac{T}{2} [e(k) + e(k-1)] + m_i(k-1)$$

$$m_d(k) = \frac{1}{T} [e(k) - e(k-1)]$$

En el siguiente capítulo se desarrolla el programa que permite implementar las ecuaciones de control descritas¹. La facilidad de implementar las ecuaciones de control es la principal razón de haber seleccionado el control PID.

¹La obtención de estas ecuaciones se desarrolla en el apéndice

CAPITULO 6

CONTROL MAESTRO

El control maestro es un sistema electrónico encargado de controlar "todas" las variables de interés y ejecutar las acciones de control pertinentes.

Se puede desglosar el funcionamiento de la planta en una serie de pasos o acciones. La siguiente secuencia define por sí sola, las necesidades o requerimientos que el sistema "control maestro" debe considerar para llevar al cabo el proceso. Una vez definida la secuencia, se procede a diseñar el sistema electrónico, que permita realizar la secuencia de funcionamiento mencionada.

Secuencia de control

- 1.- Cargar las sustancias en los tanques de precalentamiento.
- 2.- Detectar si el contenido de los tanques tiene el nivel mínimo permitido.
- 3.- Si alguno de los tanques está vacío, esperar a que se encuentren los dos llenos.
- 4.- Definir las características de operación del proceso:
 - a) Temperatura de precalentamiento de ambas sustancias.
 - b) Temperatura de reacción.
 - c) Tiempo de reacción
- 5.- Definir el tipo de controlador y las variables necesarias para su ejecución:
 - Tipo de controlador (P, PI, PID)
 - Constantes del controlador (KP, KI, KD)
 - Tiempo de muestreo
- 6.- Iniciar el precalentamiento de las sustancias hasta el punto definido en el paso 4.
- 7.- Preparar la cámara de reacción, elevando su temperatura al punto de operación.
- 8.- Terminado el precalentamiento, descargar las sustancias dentro del reactor.
- 9.- Poner en marcha el control de temperatura seleccionado.

- 10.- Activar el agitador y la bomba de agua para el condensador.
- 11.- Mantener la temperatura en la cámara de reacción hasta que el tiempo transcurrido desde la descarga de los tanques sea igual al definido en paso 4.
- 12.- Descargar el producto, desactivar el agitador y la bomba de agua.
- 13.- Finalizar.

Los pasos anteriores son una muy general descripción de las acciones y el orden en que deben ejecutarse en la planta.

La implementación del sistema control-maestro se puede dividir, para mayor facilidad de diseño, en dos secciones, a saber, una que describe el "Hardware" y otra que desarrolla el "Software" apropiado para el Hardware diseñado.

Hardware

Para facilitar el diseño y el entendimiento del control maestro, se muestra la siguiente ilustración (fig. 6.1) en que se describen los distintos elementos que intervienen en el control. Debe hacerse notar que la presente ilustración está hecha al punto de vista del control maestro y que difiere, sólo en apreciación, del modelo físico.

A excepción de los circuitos sensores y actuadores, que son descritos en su capítulo correspondiente, en la presente sección se describen los circuitos que permiten evaluar las señales de los sensores y producir la señal requerida por los actuadores. El display y el teclado son periféricos que permiten al usuario interactuar con el sistema de control.

Como cerebro del sistema se escogió al microcontrolador MC68HC11E9 en su módulo de evaluación EVBU. Las razones de esta elección son las siguientes:

- 1.- Se tiene el conocimiento necesario para trabajar eficientemente con la tarjeta de evaluación.
- 2.- Se dispone de una tarjeta evaluadora propia.

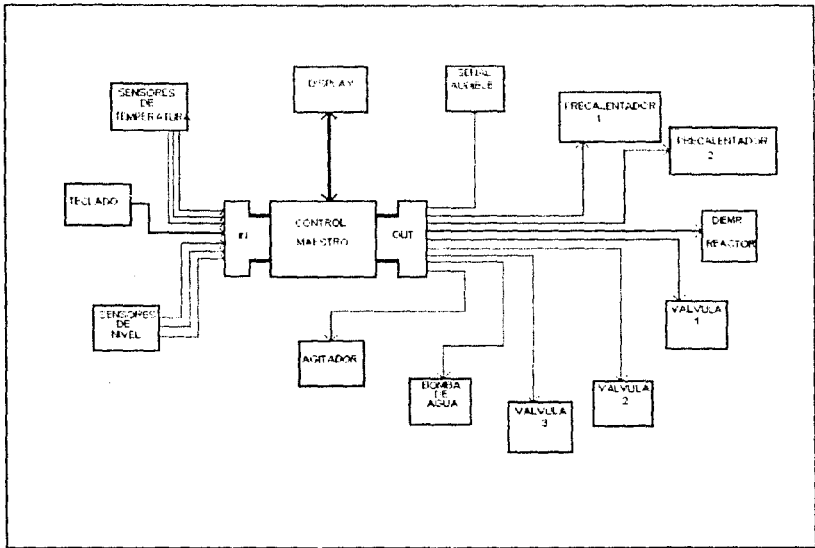


fig. 6.1 Control Maestro

3.- La implementación con la tarjeta permite, al final, prescindir de una computadora para manejar el sistema.

Desventajas:

- 1.- La cantidad de memoria disponible es mínima.
- 2.- Se necesita una computadora para poder manipular la tarjeta.

Solución:

- 1.- Diseñar una arquitectura que permita manejar una mayor cantidad de memoria, que tenga un teclado y una pantalla en la que se desplieguen mensajes para el usuario.

Ventajas:

Usar el módulo evaluador permite al diseñador ejecutar los programas en tiempo real, administrados por el BUFALO (Bit User Fast Friendly Aid to Logical Operations), programa monitor incluido en la versión del microcontrolador, con el cual se puede hacer comunicación con una computadora por medio de una interfase serial con protocolo RS-232 y comandar la tarjeta a través de la PC.

Si bien, una vez terminado el diseño y la implementación del sistema control-maestro, no se requiere una computadora para poner en marcha el sistema, todos los subsistemas y subrutinas (programas) son probados en la tarjeta con la ayuda del BUFALO, que permite, entre otras cosas, cargar el programa directamente desde la PC a la RAM del sistema, ejecutar la rutina programada y comprobar en tiempo real el desempeño de ésta, en otras palabras, BUFALO hace al sistema dinámico y versátil. Para mayor información de la tarjeta consultar el manual de Motorola 68HC11EVBU.

Como solución a la poca cantidad de memoria disponible en la tarjeta, se ha desarrollado una arquitectura que, además de aumentar la cantidad de memoria RAM, se dispone también de un banco de memoria ROM.

Para expandir la capacidad de memoria del microcontrolador es necesario reconfigurar la tarjeta para trabajar en modo "expandido". La información necesaria para hacer el cambio de configuración se encuentra en el manual de la tarjeta evaluadora. Para cualquier duda consultar el manual.

El cambio en el modo de operación del microcontrolador provoca la pérdida de dos de sus puertos internos (puerto C y puerto B) con los cuales se generan las señales del bus de datos y el bus de direcciones. Al modo expandido también se le denomina "multiplexado" porque el bus de direcciones también es el bus de datos, pero en diferentes instantes. De ésta función se encarga el puerto bidireccional C, sincronizado con la señal AS (address strobe) para indicar el momento en que el puerto presenta en sus terminales una "dirección válida" (AS es activa alta). Después de desactivarse AS, se presentan los datos en el puerto C, siempre y cuando la señal de reloj E se encuentre en nivel bajo. La señal de reloj E, que tiene una frecuencia de 2 MHz, es la referencia para todo el procesamiento

hecho por el microprocesador. La característica principal de E es que, cuando el nivel de ésta es baja, un proceso interno esta ocurriendo; y cuando esta el alto, el proceso es externo. A fin de cuentas E sincronizar el acceso a los dispositivos externos conectados al microcontrolador.

A parte de las señales AS y E existe otra más que sirve para controlar los periféricos y esta señal es R/W. La naturaleza de esta señal se explica por si sola, se activa alta cuando se quiere leer un dato, y baja cuando se quiere escribir.

A este momento se han definido los conceptos necesarios para diseñar la arquitectura requerida. Como siguiente paso se define el mapa de memoria que tendrá nuestra arquitectura. Para el diseño del mapa de memoria tenemos en cuenta que están disponibles, con cierta facilidad en el mercado, el siguiente material:

- Banco de memoria RAM de 2 kbytes (6116).
- Banco de memoria UVPROM de 8kbytes (27C64).
- Display de LCD con bus de datos de 8 bits.
- Puerto paralelo de 24 líneas (82C55).

Como se puede advertir, todos los dispositivos mencionado son CMOS ya que el microcontrolador también lo es.

El mapa de memoria propuesto se ilustra en la figura 6.2 de la siguiente página

Se observa que los bits A_{15} , A_{14} , A_{13} son las señales necesarias para la decodificación. En la siguiente pagina se muestra el diagrama (fig. 6.3) que ilustra la implementación del decodificador (UM4) de las señales, así como la conexión de todos los dispositivos externos al microcontrolador. Notese el circuito conectado directamente al puerto C (UM5 en 1ARQ). Este "latch" permite capturar las direcciones válidas que presenta el puerto, indicadas por la señal AS, y las mantiene durante todo el ciclo de reloj E, separando así, las direcciones de los datos. La señal E, activa y desactiva el decodificador que habilitar los periféricos, sincronizandolos al ciclo de maquina presente. Se hace notar que en el presente esquema no se encuentran ni el display, ni el puerto paralelo, esto es porque surge la necesidad de

Mapa de Memoria

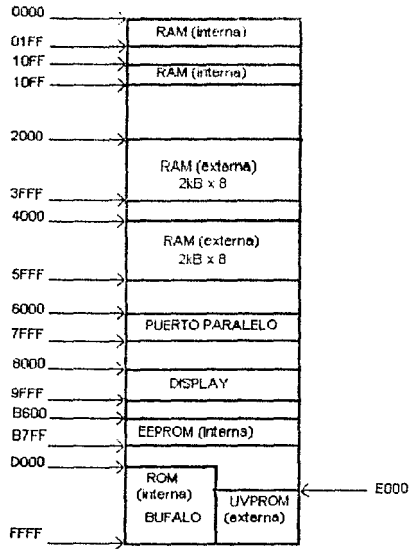


figura 6.2 [a]

MAPA DE MEMORIA

	BUS DE DIRECCIONES															Valor en hexadecimal
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
RAM1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2000
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3FFF
RAM2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4000
	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5FFF
PUERTO	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6000
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7FFF
DISPLAY	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8000
	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8FFF
UVPROM	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	E000
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	FFFF

figura 6.2 (b)

diferenciar un módulo de memoria y un módulo denominado puertos. El esquema de puertos se muestra a continuación del de memoria en las siguientes paginas (fig 6.4).

Se hacen notar algunos puntos finos del circuito de la figura 6.4.

1°.- Display. Este dispositivo requiere de una señal de habilitación activa alta, mientras que el decodificador encargado de ésta, se activa baja, lo que hace necesario el negar la señal por medio de una compuerta NAND. La pantalla de LCD requiere también que se le conecte la señal *R/W*, dado que en ciertos momentos es necesario leer del display. Surge aquí una pregunta, ¿Por qué he de leer de un dispositivo de salida?. La razón es que, dada la velocidad de 2 MHz a la que "corre" el microcontrolador, no es posible que la pantalla responda a las instrucciones que el micro le manda. Para salvar la situación el fabricante de la pantalla proporciona una señal en forma de bandera, que avisa al microcontrolador que se encuentra listo para recibir la información.

Por último, el potenciómetro conectado al display controla el contraste del mensaje desplegado.

2°.- El puerto 82C55. El dispositivo 82C55 es un puerto CMOS paralelo de 24 líneas, de la familia INTEL. Surge otra pregunta, ¿Por qué usar un dispositivo INTEL cuando el microcontrolador es Motorola?. A este respecto, se reconoce que Motorola provee de un circuito que compensa la pérdida del puerto B y C por la expansión, el 68HC24; circuito que se trato de conseguir por todos los medios disponibles, y así mantener la uniformidad.

Después de mucho tiempo transcurrido y al no tener noticias favorables de los proveedores, se descartó por completo la posibilidad de utilizar dicho circuito. Debe tomarse en cuenta que no se tiene ninguna información del circuito de Motorola y que se cotizó en N\$120 por circuito. Por lo anterior se tomó la decisión de utilizar otro componente que satisficiera nuestras necesidades. El componente seleccionado fue el 82C55, circuito del cual tenemos toda la información técnica necesaria para trabajar con él, su costo es de N\$25 por circuito.

Con el puerto ya disponible es necesario modificar la arquitectura para trabajar con este circuito, que por ser de familia deferente, tiene un funcionamiento también diferente al utilizado por Motorola.

La principal diferencia que se tiene al utilizar el 82C55 de INTEL con el MC68HC11 se observa al

comparar los diagramas de tiempos de cada uno de los circuitos (ver fig. 6.5 en la siguiente página)

No todas las señales del puerto pueden ser manipuladas sin problema por el microcontrolador. Hay tres señales que requieren ser convenientemente manejadas para que el circuito funcione correctamente.

1ª.- La señal de CE' no cumple con los requerimientos de tiempo del puerto. Para aclarar esta situación debe recordarse que "todos" los circuitos están sincronizados con la señal E, y en consecuencia el CE' proporcionado por el decodificador (UM4 en 1ARQ) para cada uno de los circuitos que intervienen, sólo está presente cuando la señal E se encuentra con un nivel alto, observe el diagrama de tiempos anterior (fig. 6.5). Por otro lado, el diagrama de tiempos del puerto indica que la señal de CE' debe estar presente en todo momento del proceso de lectura o escritura. Con la arquitectura tal y como se ha diseñado no se puede mantener la señal de CE' el tiempo que requiere el puerto para aceptar los datos, es más, el dispositivo se deshabilita poco antes de que se presenten los datos en el bus correspondiente. En conclusión, es necesario modificar la señal CE' del puerto de tal forma que cumpla con los requerimientos del dispositivo. Para resolver éste problema se ha incluido entre la señal de CE' proveniente del decodificador (UM4) y el puerto (UP2 en 2ARQ) un circuito "latch" (UP3 en 2ARQ) que mantiene la señal de habilitación durante todo el ciclo AS, permitiendo así, que el puerto se habilite de forma correcta.

2ª.- La señal de lectura y escritura proporcionada por el microcontrolador (R/W) no es compatible con la requerida por el puerto; en éste, la señal de lectura y escritura son independientes entre sí, es decir, se tienen dos señales separadas (RD', WR') que determinan si el proceso es de lectura o escritura. La solución al problema es separar la señal de R/W del micro, en dos señales RD y WR' por medio de un decodificador (UP4 en 2ARQ) con salidas "activas bajas". La salida menos significativa es la señal de WR' y la siguiente es la señal de RD'.

3ª.- El puerto tiene un RESET activo alto y el del microcontrolador es activo bajo. La compuerta NAND (UM6c en 2ARQ) invierte la señal de RESET del puerto.

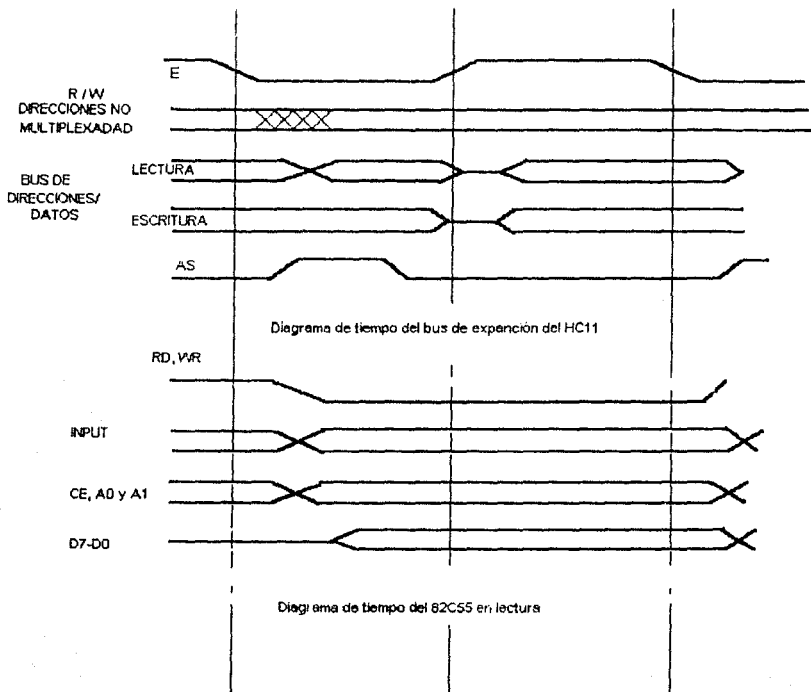


figura 6.5

Realizadas las modificaciones anteriores el puerto paralelo de 24 líneas 82C55 de INTEL, se ajusta perfectamente a la arquitectura diseñada.

Observe en la fig. 6.4 (2ARQ) que el puerto 82C55 es el encargado de transmitir a los actuadores las señales de control que manda el "HC11", así como la de recibir la señal de los sensores de nivel, y la señal de dato del teclado. A continuación se describe la conexión a cada puerto de 82C55, así como la ubicación lógica de cada uno de los dispositivos conectados a éste

El puerto A del 82C55 esta ubicado en la dirección 6000H y a éste se ha conectado un convertidor digital-analógico que se encarga de producir la señal de referencia que requiere el DIMMER (ver sección de SENSORES y ACTUADORES). Es evidente por lo anterior, que el puerto A debe ser programado como puerto de salida. A pesar que la programación se hace a través de software debe advertirse que el registro de control del puerto queda ubicado en la dirección 6003H del mapa de memoria.

El puerto B ubicado en la dirección 6001H se encarga de mandar las señales a los actuadores de las válvulas, precalentadores, agitador y bomba de agua (ver sección de SENSORES y ACTUADORES). Este puerto también debe ser programado de salida. La siguiente ilustración muestra la ubicación lógica de los actuadores que intervienen en éste puerto:

PB7	PB6	PB5	PB4	PB3	PB2	PB1	PB0
BEAP	bomba	válvula_2	válvula_1	válvula_3	agitador	precalent_2	precalent_1

Dirección: 6001H

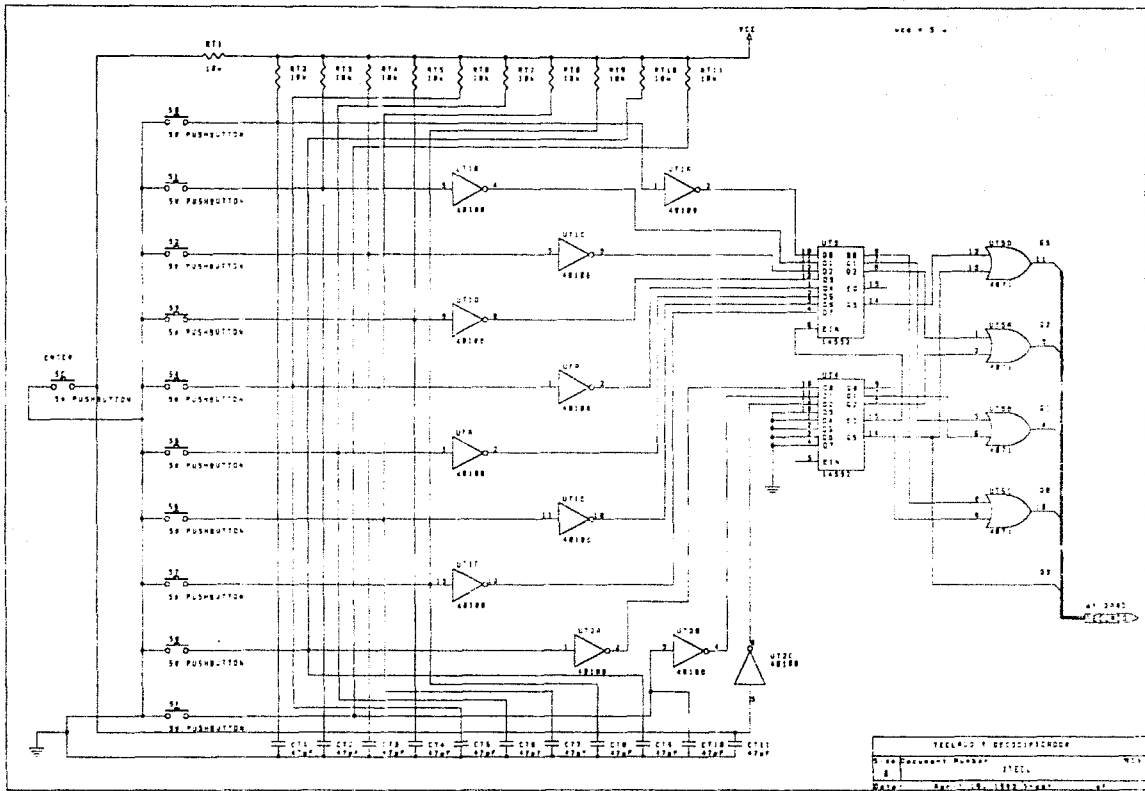
El puerto C esta ubicado en la dirección 6002H. Este puerto debe ser programado de entrada, ya que por él, se reciben las señales provenientes de los sensores de nivel, así como el dato presente en el teclado. La siguiente ilustración describe la posición lógica de los elementos que intervienen en el puerto:

PC7	PC6	PC5	PC4	PC3	PC2	PC1	PC0
	sensor de nivel_2	sensor de nivel_1	bandera del teclado	MSB del teclado	dato del teclado	dato del teclado	LSB del teclado

Dirección: 6002H

Para que el usuario pueda introducir los datos que requiere el sistema para trabajar, se cuenta con un teclado no-matricial de 12 botones, ver figura 6.6 en la siguiente página. Cada uno de los pushbutton esta conectado a una red RC para eliminar el ruido de alta frecuencia que se produce al oprimir la tecla. Para asegurar que la señal presente el menor ruido posible, cada botón esta conectado también a un inversor con histeresis (UT1 y UT2 en 1TECL). La salida de éstos se conectan a la entrada correspondientes a su valor establecido por el valor de la tecla, en el circuito codificador (UT3 y UT4), el cual genera cinco señales que representan la tecla oprimida en el teclado; las primeras cuatro son el código binario de la tecla oprimida, es decir, si se oprimió la tecla que representa el numero 6, en los bits correspondientes al teclado (PC0-3 en el puerto C del 82C55) se leerán 0110. La quinta señal es una bandera (bit PC4) que indica si una tecla ha sido ó ha dejado de se seleccionada; si PC4=0 entonces no se está oprimiendo ninguna tecla, pero si PC4=1 entonces se está presionando alguna tecla. Por medio de éste teclado sólo se pueden introducir al sistema datos numéricos y la tecla marcada con la letra "C" actúa como el "RETORNO" en las computadoras, en otras palabras, se debe presionar ésta tecla siempre que se le quiera indicar al sistema que capture el dato introducido. El conjunto de pushbuttons que forman el teclado se encuentran separados de los circuitos atenuadores de ruido y codificadores, montados en un panel independiente, que puede ser manipulado con mucha facilidad por no encontrarse fijo a la estructura que agrupa las tarjetas electrónicas.

La señal proveniente de los circuitos sensores de temperatura se conectan a los pines 44, 46 y 48 del conector principal en el diagrama 1ARQ. Estos pines corresponden a las entradas PE4, PE5 y PE6 del convertidor analógico/digital integrado en el microcontrolador. De nuevo, el manejo de éstas señales se hace por medio de software.



TECHNICAL REVISIONS		
NO.	REVISION NUMBER	DATE
1	1	1968

SOFTWARE

El siguiente diagrama de bloques describe la secuencia de acciones que realiza el sistema electrónico para controlar la planta:

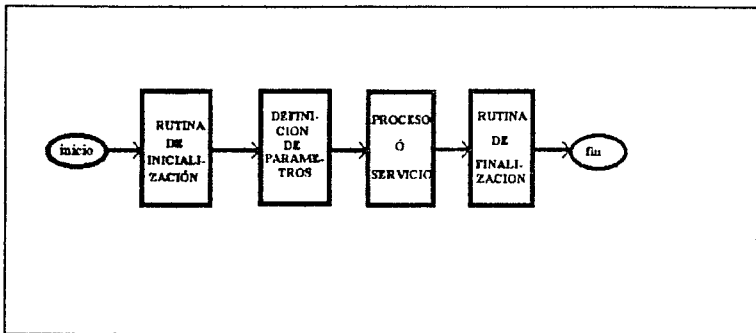


fig. 6.7 Diagrama a bloques de la secuencia de control del Software.

Este esquema representa de manera muy general la serie de pasos que la planta debe realizar al ponerla en operación. Para aclarar el significado de cada módulo, se describe a continuación el funcionamiento de cada uno de ellos:

Rutina de inicialización.- Este bloque se encarga de preparar al sistema para la ejecución adecuada del proceso. En ésta rutina se inicializa el display, se programa los puertos, se cierran las válvulas, se atiende cualquier señal de error y no se continúa hasta que dichas señales sean las adecuadas

Definición de parámetros.- Este bloque permite al usuario escoger el modo de operación de la planta, modificar los parámetros de la reacción, seleccionar el tipo de control del proceso de reacción y modificar los parámetros preestablecidos para dicho control. Son tres los tipos de control que se pueden aplicar, a saber, control P, control PI y control PID

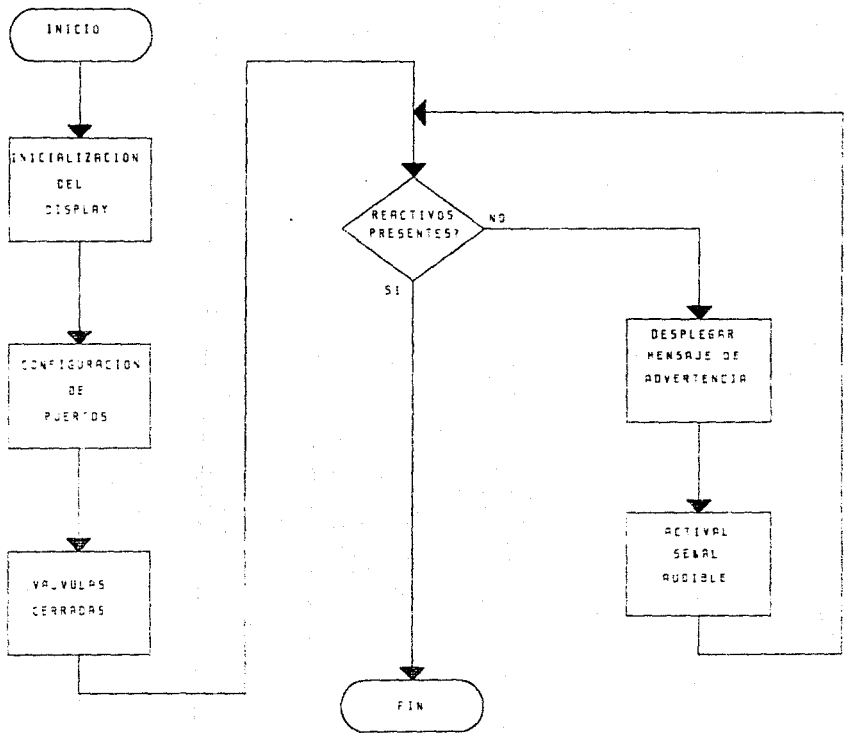
Proceso.- Aquí se resume la secuencia de control general para toda la planta:

- a) Control de temperatura ON/OFF para los precalentadores.
- b) Algoritmo de control para el reactor.
- c) Cierre y apertura de las válvulas en su momento.
- d) Despliegue al usuario del tiempo transcurrido, temperatura de los tanques y/o reactor.
- e) Secuencia de mantenimiento (SERVICIO).

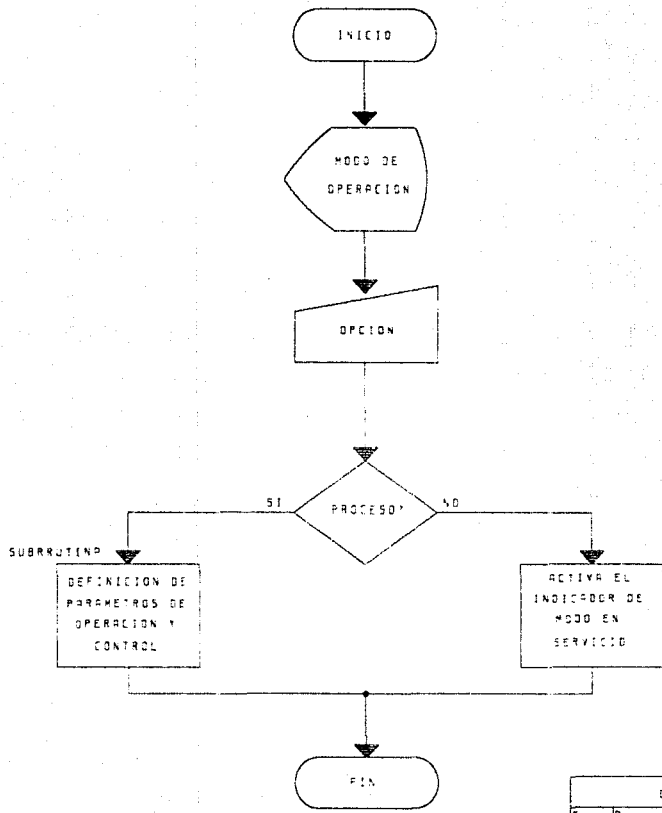
Rutina de finalización.- En ésta etapa el controlador detiene el agitador, abre la válvula de salida final, apaga la bomba de agua e indica al usuario que el proceso a finalizado.

Para hacer los programas es necesario que cada uno de los bloques sea descrito con mucho más detalle que en los párrafos anteriores, es más, cada bloque debe ser representado como un diagrama de flujo que cumpla el objetivo del bloque al que pertenece.

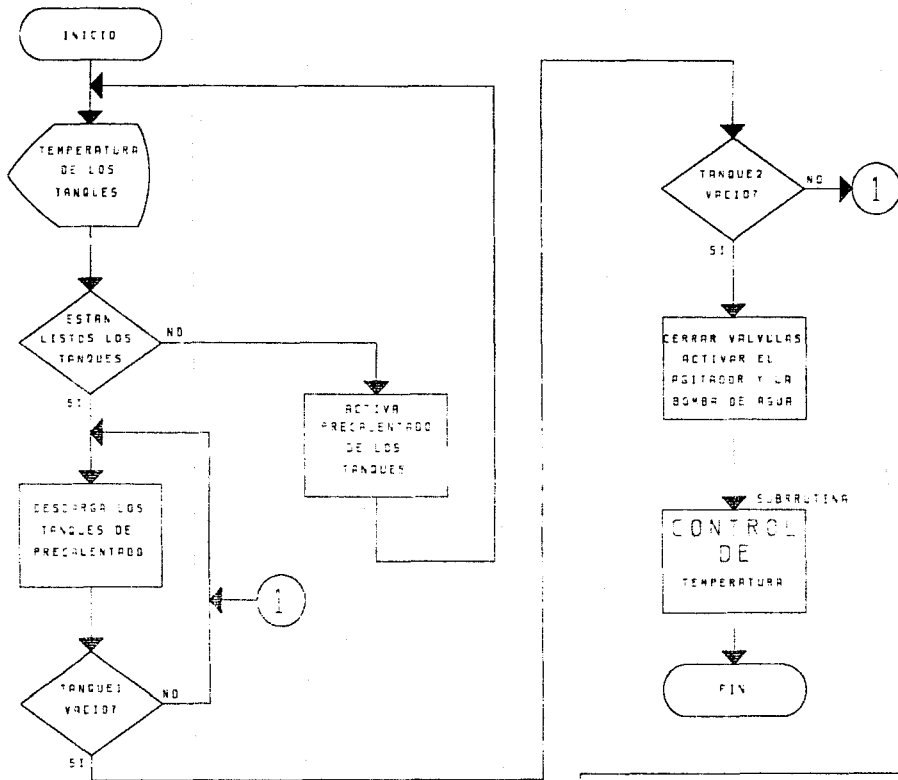
En las siguientes páginas se muestran los diagramas de flujo para cada uno de los bloques mencionados. Estos describen la secuencia y las acciones que se deben efectuar en cada bloque, permitiendo así, que el proceso de desarrollo del software sea "menos complicado". No obstante, los diagramas de flujo presentados no son lo suficientemente detallados como para generar, de éstos, los programas correspondientes.



ROUTINA DE INICIALIZACION		
Size	Document Number	REV
A		
Date:	Apr. 26, 1993	Sheet 1 of 1



DEFINICION DE PARAMETROS:		
Size	Document Number	REV
A		
Date:	Apr. 1 26 1968	5/11/68



BLOQUE DE PROCESO

Sheet Document Number

5 A

REV

Date: April 28, 1953 Sheet

54



BLOQUE FINALIZACION

Size	Document Number	REV
A		
Date	April 26, 1993	Sheet 1 of 1

Existen una serie de detalles que deben ser aclarados antes de continuar con la programación, por ejemplo. ¿Por qué se requiere inicializar el display y los puertos?. ¿como interpreta el microcontrolador la señal de los sensores?. ¿que señal se mandar al DIMMER como respuesta a la temperatura muestreada? y etc.

Display

Como primer punto se describe la forma en que se está manipulando el display para poder mandar mensajes al usuario. El display que se esta usando en una pantalla de cristal liquido (LCD) de 20 caracteres por 4 líneas de la serie DMC de OPTREX CORPORATION. El módulo es CMOS y todas sus funciones se controlan por instrucciones de un microprocesador.

El módulo de LCD se inicializa automáticamente cuando se energiza, o bien, ocurre un RESET. Se requieren ciertas condiciones para que la inicialización automática funciones. Si no se tiene éxito el módulo debe ser inicializado manualmente.

Otro aspecto importante del módulo de LCD es la velocidad a la que puede responderle al microcontrolador. De sus especificaciones se nota que el display es mucho más lento que el microcontrolador (el ciclo de habilitación mínimo de 1000 ns mientras el HC11 trabaja a 500ns) y por lo tanto no responderá adecuadamente a las instrucciones que por la interfase se manden. Previendo esto, el fabricante genera una señal que indica al microprocesador que se encuentra listo para recibir la instrucción o el dato. A ésta señal se le denomina *Busy Flag (BF)*:

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	A	A	A	A	A	A	A

Si BF=1 indica que una operación interna se está ejecutando y el comando presente es ignorado hasta que BF=0. Por esta razón, si se quiere mandar un dato al display, primero se leerá la bandera BF hasta que sea igual a cero y después se continuará con la transmisión del comando o dato, según sea el caso.

El módulo tiene funciones especiales (comandos) integrados, los cuales se pueden usar en cualquier momento. Con éstos comandos se puede limpiar el display, colocarse en la posición de inicio (carácter 1), prender o apagar el display, mover el cursor a cualquier posición en la pantalla, etc. Para mayor información consultar el apéndice.

Para formar un letrero en la pantalla de LCD es necesario rediseñarlas en papel y obtener los códigos ASCII para cada una de ellas. Cada pantalla ocupa un número determinado de bytes en memoria, cada byte representa un carácter del letrero. La rutina que permite desplegar los caracteres sólo necesita saber en que localidad de memoria se encuentran ubicados los códigos correspondientes al letrero que se quiere desplegar. El despliegue se mantiene hasta que la rutina encuentra el código de FIN DE LETRERO (FF). A decir verdad, el despliegue se hace por renglones, primero el renglón 1 y 3, y luego los renglones 2 y 4. El nombre de esta subrutina es DESPLIEGUE y se puede consultar en el listado del programa MONITOR que se encuentra al final del capítulo. Revise también las rutinas de INICIA (inicialización de display) y ESPERA (busy flag).

Puertos

Para poder utilizar los puertos de nuestro sistema de control es necesario primero programarlos. Los puertos que se usan son los siguientes:

- 1.- Puerto E del microcontrolador (convertidor analógico/digital)
- 2.- Puerto externo 82C55 (señales de control y lectura del teclado)

1.- El puerto E del HC11 se puede manejar de dos formas, una como puerto de entrada de propósito general, y la otra como convertidor analógico/digital. Para indicar al HC11 que el puerto E funcionará como CAD es necesario prender el bit 8 del registro OPTION. En seguida, se configura el funcionamiento del CAD en el registro ADCTL. Este registro contiene un número binario de 8 bits que configura al CAD de la siguiente manera: conversión continua, canalización múltiple y grupo 2 de canal. Las señales de los sensores de temperatura se conectan a los pines PE4, PE5 y PE6. Aquí llegamos a uno de los puntos más importantes en el manejo de las señales. Como recordará del capítulo de

SENSORES Y ACTUADORES, la señal de salida del circuito sensor de temperatura se aproxima mucho a un comportamiento lineal, pero es necesario procesar el resultado de la conversión de la señal del sensor, para que éste valor represente realmente al valor sentido. El encontrar la función que nos transforme el valor del convertidor en un número (hexadecimal) de representación real, es decir, si la temperatura es de 80, el número ya transformado es 50H (la "H" significa hexadecimal, que es 80 en decimal), es una tarea no muy complicada, pero requiere de cierto análisis matemático:

Primero, la resolución del convertidos es:

$$RES = \frac{V_{MAX}}{NUM_{MAX}} = \frac{5}{255} = 0.0196 \frac{V}{bit}$$

Ahora la ecuación se puede escribir así:

$$NUM = \frac{ENTRADA[V]}{0.0196 \frac{V}{BIT}}$$

La siguiente figura representa el comportamiento del circuito sensor, donde V es el voltaje de entrada modificado al CAD del microcontrolador. Es necesario modificar la señal de entrada el CAD porque, como se muestra en la gráfica la salida de voltaje del circuito sensor V' es de 10 V para 100 grados. Por medio de un circuito atenuador se reduce el voltaje de salida a la mitad, permitiendo al CAD trabajar correctamente.

De la gráfica

$$ENTRADA = V = \frac{1}{20} T$$

done T es la temperatura.

Sustituyendo

$$NUM = \frac{\frac{1}{20} T[V]}{0.0196 \frac{V}{bit}}$$

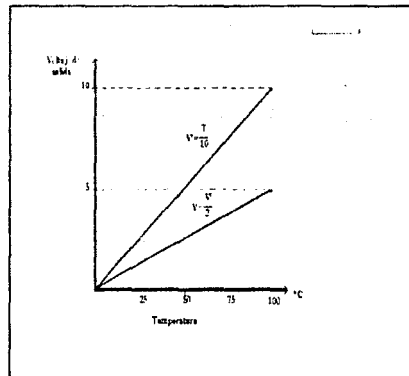


fig.6.12 Comportamiento del cto. sensor de temperatura.

$$NUM = \frac{T}{0.392} - (2.551)T [b_{16}]$$

despejando T

$$T = 0.392 NUM + \frac{NUM}{2.551}$$

Finalmente, multiplicando por 100 arriba y abajo

$$T = \frac{100NUM}{255.1}$$

Esta ecuación obtiene la temperatura en grados centígrados de la señal de los sensores en base al valor de NUM (valor de conversión). La ecuación anterior no se puede utilizar porque se ha desarrollado para números decimales. La ecuación que se debe implementar en el microcontrolador es la siguiente:

$$T_{hex} = \frac{64_{hex} NUM_{hex}}{FF_{hex}}$$

Esta ecuación calcula el valor real de la temperatura en hexadecimal, dado el valor de conversión NUM, que también es un número hexadecimal. La implementación se puede consultar en el listado del programa MONITOR, en la rutina llamada AJUSTE.

2º.- La interface programable periférica CHMOS 82C55 es un puerto paralelo de entrada/salida de propósito general, con el cual se generan las señales de control para cada uno de los dispositivos externos que intervienen en el proceso. Es necesario configurar el circuito para que realice la función adecuada de control o lectura. Como se puede observar en el diagrama titulado ARQ2 los puertos A y B deben ser programados como interfaces de salida, puesto que en éstos se encuentran ubicados los dispositivos a controlar. El puerto C debe ser declarado como puerto de entrada, ya que en éste se lee el teclado y las señales de los sensores de nivel. La programación del puerto se lleva al cabo al cargar en el registro de control de éste, el código correspondiente a la función que los puertos deben realizar. Consultando las hojas características del circuito encontramos que la *palabra de control* es 89H (H = base 16 ó hexadecimal) el cual debe ser cargado ó almacenado en la localidad 6003H que

es efectivamente la ubicación lógica de registro de control del puerto. En la siguiente lista se muestra la ubicación lógica de todos los dispositivos conectados al puerto 82C55:

PUERTO A (localidad 6000H)

Bit 0 - bit 7 DIMMER (Actuador del control PID)

PUERTO B (localidad 6001H)

Bit 0	Pre calentador del tanque 1
Bit 1	Pre calentador del tanque 2
Bit 2	Motor de agitador
Bit 3	Válvula de salida del Reactor
Bit 4	Válvula de salida del tanque 1
Bit 5	Válvula de salida del tanque 2
Bit 6	Bomba de agua
Bit 7	Alarma audible

PUERTO C (localidad 6002H)

Bit 0 - bit 4	Teclado
Bit 5	Sensor de nivel del tanque 1
Bit 6	Sensor de nivel del tanque 2

Para hacer referencia a cualquiera de los dispositivos conectados al puerto es necesario tomar en cuenta la localidad del puerto que los accesa así como el o los bits que lo representa.

PROGRAMA MONITOR

En las siguientes páginas se presenta el listado completo del programa encargado de controlar en su totalidad la planta de procesos químicos (reactor). El programa fuente se ha escrito en el editor Norton (editor ASCII) con el nombre de MONITOR. ASM y ensamblado con el AVMAC11. EXE para generar el archivo MONITOR. OBJ el cual se ha grabado en una memoria UVPROM 27C64. El programa MONITOR ubicado en la localidad E000H (0000H de la memoria) despliega pantallas prediseñadas en un display de LCD, las cuales se encuentran grabadas a partir de la localidad E800H (800H de la memoria). También el programa tiene una rutina de atención a interrupción del RTI, misma que se encuentra localizada en la dirección E600H (600H de la memoria). El STACK se define a partir de la localidad 100H (memoria interna). El vector de interrupciones esta ubicado de FFC0 a FFFF (1FC0 al 1FFF de la memoria).

En general el programa se ha estructurado la mejor posible, definiendo en un principio el nombre de las variables, enseguida el programa principal y después las subrutinas empleadas. También se han documentado las líneas más importantes del programa para facilitar el estudio de éste.

```

*****
*** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ***
*** FACULTAD DE INGENIERIA ***
*** PROGRAMA MONITOR ***
*** PROGRAMADOR: Par Gonzalez Meklar ***
*** FECHA 20/07/93 ***
*** ***
***
*****

```

DEFINICION DE VARIABLES

```

OPTION EQU $1039
ADCTL EQU $1030
TMSK2 EQU $1024
TFLG2 EQU $1025
PACTL EQU $1026
PACNT EQU $1027
ADPRECAL2 EQU $1031
ADREACTOR EQU $1032
ADPRECAL1 EQU $1033
ADRA EQU $1034
FIN EQU $FF
DISPLAY EQU $8001
CRLO EQU $8000
PTOCTRL EQU $6003
PTOA EQU $6000
PTOB EQU $6001
PTOC EQU $6002
LETO_1 EQU $4001
LETO_2 EQU $402A
LET1_1 EQU $4053
LET1_2 EQU $407A
LET2_1 EQU $4097
LET2_2 EQU $40B3
LET3_1 EQU $40D8
LET3_2 EQU $40F4
LET4_1 EQU $411B
LET4_2 EQU $413F
LET5_1 EQU $4164
LET5_2 EQU $4179
LET6_1 EQU $41A0
LET6_2 EQU $41BB
LET7_1 EQU $41D7
LET7_2 EQU $41F7
LET8_1 EQU $4214
LET8_2 EQU $4231
LET9_1 EQU $42AE
LET9_2 EQU $426D
LET10_1 EQU $428A
LET10_2 EQU $42A4
LET11_1 EQU $42CD
LET11_2 EQU $42DE
LET12_1 EQU $4313
LET12_2 EQU $4318
LET13_1 EQU $431F
LET13_2 EQU $4363
LET14_1 EQU $437D
LET14_2 EQU $438A
BUI7EGL EQU $0100
SELCMOD EQU $0101
TPRECI EQU $0102
TPREC2 EQU $0103
TREAC EQU $0104
TIMBERIAC EQU $0105
TIPCRL EQU $0106
BFFDISP0 EQU $0107
BFFDISP1 EQU $0108
BFFDISP2 EQU $0109
KP EQU $010A
KI EQU $010B
KD EQU $010C
SAMPLE_TIME EQU $010D
TANQ1 EQU $010F
TANQ2 EQU $010F
STATUS EQU $0110
ATF1 EQU $0111
NM_DEC EQU $0112

```

```

;fin de lettero
;localidad de despliegue del display
;localidad de control del display
;localidad de control del puerto paralelo
;puerto de salida A
;puerto de salida B
;puerto de entrada C
;ubicacion del ranqueo 1 del lettero 0
;ubicacion del ranqueo 2 del lettero 0

;dato de entrada por teclado
;modo de operacion del sistema
;temperatura de precalentamiento tanque 1
;temperatura de precalentamiento tanque 2
;temperatura de reaccion
;tiempo de reaccion
;tipo de controlador

;constante proporcional
;constante integral
;constante diferencial
;tiempo de muestreo
;temperatura de PRECI en HEX
;registro de estado de los PRECI
;registro de ajuste para el DAC
;registro de conversión a DEC

```

```

ASCINS EQU 50113
ASCIN5 EQU 50114
CLAVE EQU 500
MIN EQU 50116
SEG EQU 50117
DEC EQU 50118
ERROR EQU 50119
ASCITANQIMS EQU 5011A
ASCITANQIS EQU 5011B
ASCITANQIMS EQU 5011C
ASCITANQIS EQU 5011D
ASCIREACMS EQU 5011E
ASCIREACLS EQU 5011F
OP1 EQU 50120
OP2 EQU 50122
OP3 EQU 50124
ERROR ANT EQU 50126
OP2ANT EQU 50128
RESULT EQU 5012A
RES1 EQU 5012C
CAM REAC EQU 5012E
TIME REAC EQU 5012F
DEC M EQU 50130
CUENTA RTI EQU 50131
AJTE EQU 50132
AJTE H EQU 50133
AJTE I EQU 50133
VOL EQU 50134
*****
ORG 50000
*****
INITIALIZA EL STACK *****
LDX #50100
TSX
***** ABILTA INTERRUCCION MASCARABLE *****
TPA
ANDA #5FF
TAP
***** PROGRAMA PRINCIPAL *****
PROG
JSR INICIA ;rutina de inicializacion
JSR PARAMETROS ;rutina de definicion de parametros
LDAA SELCMOD
CMPA #502
BEQ SERV
JMP PROCESO
SERV
JSR SERVICIO
BRA PROG
*****
SUBROUTINAS *****
INICIA
***** INICIALIZA VARIABLES GENERALES *****
LDI #50000
STAA KP
STAA KI
STAA KD
STAA ERROR
STD OP1
STD OP2
STD OP3
STD ERROR ANT
STD OP2ANT
STD RESULT
STD RES1
LDAB #501
STAB SAMPLE TIME
***** INICIA REGISTROS DE TIEMPO *****
STAA CUENTA RTI
STAA MIN
STAA SEG
STAA DEC
STAA DEC_M
*****
***** INICIA DISPLAY *****
LDAA #5FF
LOOP
DECA
BNE LOOP

```

```

registro más signific. de la conv. a ASCII
registro menos signific. de la conv. a ASCII
clave para iniciar proceso
registro de las minutos transcurridas
registro de las segundos transcurridas
registro de las decimas de seg. transcurridas
diferencia entre la referencia y la salida

```

```

1000000
JNR ESPERA
STAB CRLD
LDAA #BIT
100001
DECA
BNE LOOP0
JNR ESPERA
STAB CRLD
LDAA #BIT
LOOP0
DECA
BNE LOOP0
JNR ESPERA
STAB CRLD
LDAB #3B
JNR ESPERA
STAB CRLD
LDAB #50C
JNR ESPERA
STAB CRLD
LDAB #01
JNR ESPERA
STAB CRLD
LDAB #506
JNR ESPERA
STAB CRLD
***----- INICIA PUERTO PARALELO-----**
LDAA #589 ,palabra de control
STAA PTOCTRL ,puerto programado
LDAA #1FF
STAA PTOA
***----- CIERRE DE VALVULAS -----**
LDAB #340 ,valvulas cerradas
STAB PTOB
***----- PRESENCIA DE REACTIVOS -----**
PRESENCIA
LDAA PTOC
ANDA #560 ,lecturas de los sensores de nivel
CMPA #500
BNE ADVERT ,algun tanque no esta lleno
LDAB #540 ,alarma desactivada
STAB PTOH ,tanques llenos estancias continuas
RTS
ADVERT
LDX #LETO 1
LDY #LETO 2
JNR DESPLIEGUE
LDAB #500
STAB PTOB ,encendiendo alarma
BRA PRESENCIA
***----- RUTINA PARAMETROS -----**
PARAMETROS
***----- MODO DE OPERACION -----**
LDX #LETT 1
LDY #LETT 2
JNR DESPLIEGUE
10001
JNR TECLADO ,rutina de lectura de teclado
LDAA BUFTTCL ,carga en A la entrada por teclado
CMPA #501 ,si la opcion es 1 realiza el proceso
BEQ DEFPROC
CMPA #502 ,si la opcion es 2 realiza el servicio
BEQ DEFJUMP
BRA LOOP3 ,mantenerse mientras la entrada no sea 1 o 2
DEFPROC
STAA SELMOD ,guarda la seleccion del modo
LDX #LETT 2
LDY #LETT 1
JNR DESPLIEGUE
JNR TECLADO
LDAA BUFTTCL
STAA TPRECI ,guarda el valor de precalentamiento 1
LDX #LETT 2
LDY #LETT 1
JNR DESPLIEGUE
JNR TECLADO
LDAA BUFTTCL

```

```

STAA TREFAC          ,guarda el valor de la temperatura 2
LDX #LE14 2
LDY #LE14 2
JSR DESPLIEGUE
JSR TECLADO
LDAA BUTTECI
STAA TREFAC          ,guarda el valor de la temperatura de reaccion
LDX #LE13 0
LDY #LE13 2
JSR DESPLIEGUE
JSR TECLADO
LDAA BUTTECI
STAA TREFAC          ,almacena el valor del tiempo de reaccion
***** CONTROLADOR *****
LDX #LE16 1
LDY #LE16 2
JSR DESPLIEGUE
BRA LOOP3 1
DEFJUMP
BRA DIFSERV
LOOP3 1
JSR TECLADO
LDAA BUTTECI
CMPA #S01          ,control P
BEQ DIFCONTRI
CMPA #S02          ,control PI
BEQ DIFCONTRI
CMPA #S03          ,control PID
BEQ DIFCONTRI
BRA LOOP3 1
DIFCONTRI
STAA TREFAC          ,guarda la seleccion del tipo de controlador
CMPA #S02
BEQ DESPL PI
CMPA #S01
BEQ DESPL P
LDX #LE17 1          ,visualiza
LDY #LE17 2          , valor de la constante diferencial
JSR DESPLIEGUE
JSR TECLADO
LDAA BUTTECI
STAA KD
DESPL PI
LDX #LE18 1          ,visualiza
LDY #LE18 2          , valor de la constante integral
JSR DESPLIEGUE
JSR TECLADO
LDAA BUTTECI
STAA KI
DESPL P
LDX #LE19 1          ,visualiza
LDY #LE19 2          , valor de la constante proporcional
JSR DESPLIEGUE
JSR TECLADO
LDAA BUTTECI
STAA KP
LDX #LE110 1          ,visualiza
LDY #LE110 2          , valor del tiempo de muestreo en seg/10
JSR DESPLIEGUE
JSR TECLADO
LDAA BUTTECI
STAB SAMPLE TIME
BRA FIN PARAM
DIFSERV
STAA SELCMOD
FIN PARAM
RTS
***** Rutina de despliegue *****
DESPLIEGUE
PSHA
PSHB
LDAB #S01
STAB CRLD
PSHB
LOOP1
LDAA SOG.X
CMPA #FIN
BEQ REGRESU          ,despliega hasta encontrar el FIN

```

```

BSR ESPERA
STAA DISPL AY
ABX
BRA L DXP.
R1 CRISP:
PULB
CMPB #500
BQ FUNDISP
DIB
PSHB
NCDY
NGDN
LDAB #50
LDAA #5C0
BSR ESPERA
STAA CRID
BRA LOOP1
FINDESP
PULB
PULA
RTS
-----
FSH RA
PSHA
LOOP2
LDAA CRID
ANDA #580
CMPA #500
BNF LOOP2
PULA
RTS
-----
***** RUTINA DE ATENCION A TECLADO *****
TECLADO
INCAP
BSR BUFDISP
LDAA #5DF
STAA CRID
POLFO:
LDAB PTOC
ANDB #10
CMPB #500
BQ POLFO'
LDAB PTOC
ANDB #50F
POLEG:
LDAA PTOC
ANDA #510
CMPA #510
BQ POLFO2
CMPB #50A
BQ FINCAP
ORAB #530
LDAA BFFDISP1
STAA BFFDISP2
LDAA BFFDISP0
STAA BFFDISP1
STAB BFFDISP0
BRA INCAP
FINCAP
BSR CONVH X
RTS
-----
***** DFSM.LEGUE DEL BUFFER *****
R1 FDESP
PSHA
PSHB
LDAA #5DC
BSR ESPERA
STAA CRID
LDAB BFFDISP2
BSR ESPERA
STAB DISPL AY
LDAA #5DD
BSR ESPERA
STAA CRID
LDAB BFFDISP1
BSR ESPERA
STAB DISPLAY
LDAA #5DE

```

visualiza el caracter

carra en X lo que tiene Y

,cursor en caracter 1 renglon 2
,desplaza el 2º renglon

desplaza a pantalla el buffer del teclado

,presiona el teclado

,tecla no presionada?
,espera la tecla

,tecla presionada?
,espera que vuelte la tecla

,detecta caracter de RETURN
,codigo ASCII de numero

,cursor posicionado en el caracter 09

desplaza el caracter mas significativo

,cursor posicionado en el caracter 70

,desplaza caracter

```

JSR ESPERA
STAA CRLD
LDAB BFFDISP
JSR ESPERA
STAB DISPLAY
PULB
PULA
RTS
***** ASCI A HEX A DECIMAL *****
CONVHEX
LDAA BFFDISP?
ANDA #50F
LDAB #504
MUL
PSHB
LDAA BFFDISP?
ANDA #50F
LDAB #50A
MUL
PULA
ABA
LDAB BFFDISP?
ANDB #50F
ABA
STAA BUFTCI
RTS
***** PROCESO *****
PROCESO
LDAB SELCMOD
CMPB #502
BEQ FINI_PROC
LDX #LEF11 1
LDY #LEF11 2
JSR DESPLIFGUF
LOOP4 0
JSR TECLADO
LDAB BUFTCEL
CMPB PCLAVE
BNE LOOP4 0
***** CONFIGURACION DEL CONVERTIDOR A/D *****
LDAA #580
STAA OPTION
LDAB #5FF
LOOP4 1
DECB
BNE LOOP4 1
BRA INCSEC
FINI_PROC
BRA FINI_PROC
***** INICIA SECUENCIA *****
INCSEC
LDX #LEF12 1
LDY #LEF12 2
JSR DESPLIFGUF
PREFALINT
***** CONFIGURACION DEL CAD *****
LDAA #514
STAA ADCTL
ESPERA AD
LDAB ADCTL
ANDB #580
CMPB #580
BNE ESPERA AD
JSR TEMPERATURAS
LDAA #KCB
JSR ESPERA
STAA CRLD
LDAB ASCITANQ1MS
JSR ESPERA
STAB DISPLAY
LDAB ASCITANQ2LS
JSR ESPERA
STAB DISPLAY
LDAA #59F
JSR ESPERA
STAA CRLD
LDAB ASCITANQ2MS
JSR ESPERA

```

...curse en posición de carácter 21

...desplega el carácter menos significativo

***** ASCI A HEX A DECIMAL *****

CONVHEX

LDAA BFFDISP?

ANDA #50F

LDAB #504

MUL

PSHB

LDAA BFFDISP?

ANDA #50F

LDAB #50A

MUL

PULA

ABA

LDAB BFFDISP?

ANDB #50F

ABA

STAA BUFTCI

RTS

***** PROCESO *****

PROCESO

LDAB SELCMOD

CMPB #502

BEQ FINI_PROC

LDX #LEF11 1

LDY #LEF11 2

JSR DESPLIFGUF

LOOP4 0

JSR TECLADO

LDAB BUFTCEL

CMPB PCLAVE

BNE LOOP4 0

***** CONFIGURACION DEL CONVERTIDOR A/D *****

LDAA #580

STAA OPTION

LDAB #5FF

LOOP4 1

DECB

BNE LOOP4 1

BRA INCSEC

FINI_PROC

BRA FINI_PROC

***** INICIA SECUENCIA *****

INCSEC

LDX #LEF12 1

LDY #LEF12 2

JSR DESPLIFGUF

PREFALINT

***** CONFIGURACION DEL CAD *****

LDAA #514

STAA ADCTL

ESPERA AD

LDAB ADCTL

ANDB #580

CMPB #580

BNE ESPERA AD

JSR TEMPERATURAS

LDAA #KCB

JSR ESPERA

STAA CRLD

LDAB ASCITANQ1MS

JSR ESPERA

STAB DISPLAY

LDAB ASCITANQ2LS

JSR ESPERA

STAB DISPLAY

LDAA #59F

JSR ESPERA

STAA CRLD

LDAB ASCITANQ2MS

JSR ESPERA

...visualiza:
... introduce clave para iniciar

...clave de acceso

...habilita el convertidor

...visualiza
... tanque1, tanque2, cámara de reacción

...configure el convertidor: conversión com
...multicanal, canales del ADM al AND7

...espera a que las conversiones se completen

...visualiza la temp. de los tanque y reactor

...curse en la posición 32

...curse en posición 52


```

1 DAA #12 ;configura el conversor conversiones en
STAA ADCT1 ;multicanal, canales del AD4 al AD1?
LDRK #7, AD
1 DAB ADCT1
ANDB #80
CMPI #80 ;que las conversiones se completen
BNE ESPR#2, A11
JSR CONTR11
FIN PROC
BRA 1,PSQ2
***** LECTURA DE LAS TEMPERATURAS DE LOS TANQUES *****
TEMPERATURAS
LDAA ADPRCAL1 ;lee del CAD el sensor 1
JSR AJUSTE
LDAB AJTE 1
CMPB TANQ1
BHS TEMP1 ;si es > 6 -
BRA TEMP2
TEMP1
STAB TANQ1
LDAB ASCIIMS
* STAB ASCITANQ1MS
LDAB ASCILS
STAB ASCITANQ1LS
BRA TEMP2 1
TEMP2
STAB TANQ1
TEMP2 1
LDAA ADPRCAL2 ;lee del CAD el sensor 2
JSR AJUSTE
LDAB AJTE 2
CMPB TANQ2
BHS TEMP3
BRA TEMP4
TEMP3
STAB TANQ2
LDAB ASCIIMS
STAB ASCITANQ2MS
LDAB ASCILS
STAB ASCITANQ2LS
BRA TEMP4 1
TEMP4
STAB TANQ2
TEMP4 1
LDAA ADREACTOR ;lee del CAD el sensor del reactor
JSR AJUSTE
LDAB AJTE 2
CMPB CAM REAC
BHS TEMP5
BRA TEMP6
TEMP5
STAB CAM REAC
LDAB ASCIIMS
STAB ASCIUREACMS
LDAB ASCILS
STAB ASCIUREACL5
BRA TEMP6 1
TEMP6
STAB CAM REAC
TEMP6 1
RTS
***** RETARDO DE 3 SEGUNDOS *****
RET #5FG
PSHA
LDAA #51A
RETS
LDX #5111
RETS 1
DEX
BNE RETS 1
DECA
BNE RETS
PULA
RTS
***** AJUSTE DEL VALOR LEIDO POR EL CAD *****
AJUSTE
LDAB #564
MUL

```

```

LDX #5001
LDIV
NGDX
LDAA #500
S10 AJTT
***** CONVERSION DE HEXA A DECIMALES *****
CONVER2
LDX #5000A
LDIV
NGDX
LDAA #500
MUL
ADDD AJTT
STAB NM DEC
ANDB #510
LSRB
LSRB
LSRB
LSRB
ORAB #510
STAB ASCUMS
LDAB NM DEC
ANDB #50F
ORAB #510
STAB ASCULS
RTS
***** RETARDO *****
RETARDO
PSHA
LDAA #5
MALLA
LDX #5FFF
MALLA1
DEX
BNE MALLA1
DECA
BNE MALLA1
PULA
RTS
***** SUBROUTINA DE CONTROL *****
CONTROL
JSR TEMPERATURAS
***** ALGORITMO DE CONTROL *****
JSR CALC ERROR ;actul de error
JSR PROP ;control proporcional
LDAA TPCRI
CMPA #500
BEQ CRIFIN
JSR INTEGRAL ;contro integral
CMPA #501
BEQ CRIFIN
JSR DERIV ;control derivativa
CRIFIN
JSR CALCULA
LDD RESULT
COMB
STAB PTOA ;palabra de control para el actuador (DIMMER)
CRIFIN2
RTS
***** CALCULO DE LA SEÑAL DE ERROR *****
CALC ERROR
LDAA TRECAC
SURA CAM REAC ;reflexión control
BGT GUARDA
LDAA #500
GUARDA
STAA ERROR
RTS
***** CONTROL PROPORCIONAL *****
PROP
LDAA ERROR
LDAB KP
MUL
CPD #500FF
BLO PROP1
LDAB #3FF
LDAA #500
PROP1

```

```

STR (SP)          Kp*(e(k) - OP1)
R15
***** CONTROL INICIAL *****
INICIAL
LDAB K1
CMPB #500
BQJ INT 13h
LDAA #500
LDAB ERROR ANT
ADD ERROR ANT          e(k) + e(k-1)
LDX #50002
DIV                    (e(k) + e(k-1))/2
NGDX
LDAA SAMPLE TIME
MUL                    10*T*(e(k) + e(k-1))/2
LDX #5000A
DIV                    T*(e(k) + e(k-1))/2
NGDX
ADD OP2 ANT
STD OP2                T*(e(k) + e(k-1))/2 + Y(k-1) - Y(k) - OP2
INT FIN
RTS
***** CONTROL DERIVATIVO *****
DERIV
LDAB K0
CMPB #100
BEQ CONT
LDAA #500
LDAB SAMPLE TIME
NGDX
LDAA #500
LDAB ERROR ANT
CMPB ERROR ANT
BLT CASO2
SUBD ERROR ANT        ,si e(k)-e(k-1) < 0 entonces CASO2
LDX #50000
DIV                    (e(k) - e(k-1))
NGDX
LDX #5000A
DIV                    (e(k) - e(k-1))/T
NGDX
CTD #500FF
BLO DER1
LDD #500F
DER1
ANDB #3FE
STD OP3                ,limpa el bit 0 (bandera de signo LOCAL, 0 -> (-))
BRA CONT
CASO2
LDAB ERROR ANT
SUBD ERROR            (e(k-1) - e(k))
DIV                    (e(k-1) - e(k))/10*T
NGDX
LDX #5000A
DIV                    (e(k-1) - e(k))/T
NGDX
ORAB #501
STD OP3                ,prende el bit 0 (bandera de signo LOCAL, 1 -> (-))
CONT
RTS
***** CALCULO FINAL DEL CONTROLADOR *****
CALCULA
LDD OP2
LDAB K1
CMPB #500
BFQ CONT2 1
MUL                    , 10k*Yi(k)
LDX #5000A
DIV                    ki*Yi(k)
NGDX
CPD #800FF
BLO CONT2 1
LDD #800F
CONT2 1
ADD OP1                ,kp*e(k) + ki*Yi(k)
CONT2
NGDX
LDD OP3
ANDR #501

```

```

    MPM #500
    BTQ PUSHT15
    LDD OP1          ; OJO* OP3 en de 16 bits
    LDAB KD
    CMPB #500
    BTQ CONT3
    MUL             ; k*Yd(k) - RIS.
    STD RES1
CONT3
    MLD
    SUBD RES1
    CPD #500FF
    BLO CONT3 2
    LDD #500FF
CONT3 2
    STD RESULT
    BRA CONT3      ; [(p*(k) + k*Y(k)) - k*Yd(k) - RESULT
POSITIV
    LDD OP3
    LDAB KD
    CMPB #500
    BTQ CONT4
    MUL             ; k*Yd(k) - RIS1
    STD RES1
CONT4 1
    XGD
    ADDD RES1
    BVC CONT4
    LDD #FFFF
CONT4
    CPD #500FF
    BLO CONT4 2
    LDD #500FF
CONT4 2
    STD RESULT
CONT3
    RTS
***** ACTUALIZA REGISTROS DE CONTROL.DAOR *****
ACTUALIZA
    LDD OP2
    STD OP2ANT     ; Y1(k-1) <--- Y1(k)
    LDAA #500
    LDAB ERROR
    STD ERROR_ANT ; e1(k-1) <--- e1(k)
    RTS
***** RUTINA DE SERVICIO *****
SERVICIO
    LDAB #503
SERVICIO1
    LDAA #5R4
    STAA PTOB     ; enciende agitador y abre válvulas
    JSR RET 55EG
    LDAA #5R4
    STAA PTOB     ; cierre de válvulas
    JSR RET 55EG
    DECB
    CMPB #500
    BNE SERVICIO1
PASO2
    JSR RET 55EG
    JSR RET 55EG
    LDAA #580
    STAA PTOB     ; apaga el agitador
    LDAA #50B
    STAA PTOB     ; abre la válvula 3, activa señal audible
    LDAB #50E
PASO3
    JSR RET 55EG
    DECB
    CMPB #500
    BNE PASO3
    LDAA #580
    STAA PTOB     ; cierra la válvula, apaga alarma
    RTS
***** FIN DE SUBRUTINAS *****
ORG 50600
***** RUTINA DE ATENCION A INTERRUPCION DEL RTI *****
LDAA CUENTA RTI

```

```

INCA
STAA CUENTA RTI
CMPB #501
BNE FIN RTI1
LDAB #500
STAB CUENTA RTI
LDAA DFC M
INCA
STAA DEC M
LDAB DEC
INCB
STAB DFC
CMPB #50A
BNE CONT RTI
LDAB #500
STAB DEC
LDAA SEG
INCA
STAA SEG
CMPB #53C
BNE CONT RTI
STAB SEG
LDAA MIN
INCA
STAA MIN
CMPB #51F
BNE CONT RTI
STAB MIN
BRA CONT RTI
FIN RTI1
BRA FIN RTI
CONT RTI
***** REFARDO DE U.02 *****
LDX #51A0A
RETOZ
DEX
BNE RETOZ
*****
LDAA #500
LDAB MIN
STD AJTE
JSR CONVERZ
LDAA ASCI0MS
LDAB #5D6
JSR ESPERA
STAB CRLD
JSR ESPERA
STAA DISPLAY
LDAA ASCI1S
JSR ESPERA
STAA DISPLAY
LDAA #500
LDAB SEG
STD AJTE
JSR CONVERZ
LDAA ASCI0MS
LDAB #5D9
JSR ESPERA
STAB CRLD
JSR ESPERA
STAA DISPLAY
LDAA ASCI1S
JSR ESPERA
STAA DISPLAY
LDAA #5E1
JSR ESPERA
STAA CRLD
LDAB ASCIREACMS
JSR ESPERA
STAB DISPLAY
LDAB ASCIREACTS
JSR ESPERA
STAB DISPLAY
FIN RTI
LDAB MIN
CMPB TIMEREAC
BEQ FINAL
LDAA #540

```


CAPITULO 7

PRUEBAS PRELIMINARES

El objetivo de este capítulo es el de caracterizar el funcionamiento del control de temperatura implementado en el la cámara de reacción, dado que aquí se lleva al cabo la reacción y debe mantenerse sin variación importante la temperatura del proceso.

Se dispone de tres tipos de control: P, PI, PID. Cada uno de estos requiere la definición de sus variables, así como el tiempo de muestreo de la señal a controlar. La selección de estos parámetros no es una tarea fácil y lo que es peor, el buen desempeño del control depende de la buena selección que se haga de ellos. Existen métodos experimentales que se basan en la respuesta real del sistema que permiten estimar los valores iniciales de las variables para un control dado. Aun así es necesario realizar muchos experimentos para obtener el valor óptimo de las variables de control que intervienen.

Se han propuesto dos experimentos que pueden contribuir mucho a la selección de las variables de control. Estos experimentos sólo prueban el desempeño del control proporcional ya que, como se verá, éste parece ser suficiente para las características del proceso. También debe hacerse notar que las pruebas se hacen con agua como reactivo y por ello nombramos al capítulo como PRUEBAS PRELIMINARES y que las pruebas reales se harán con los reactivos indicados.

El primer experimento cuantifica la relación que tiene la constante proporcional con el desempeño de la planta (reactor). La prueba se realiza de la siguiente forma: Se cargan los tanques de precalentamiento con 100 ml de agua cada uno. Se ajustan los parámetros de reacción para que no exista precalentamiento y se tenga una temperatura de reacción de 40° C (aproximadamente 10 más que la temperatura ambiente), se definen los parámetros de control para que se ejecute el control proporcional, una K_p de 30, un tiempo de muestreo $T_s=1$ segundo y tiempo de reacción de 10 minutos.

Se inicia el proceso y se toman lecturas de la temperatura de reacción cada 15 segundos hasta que el proceso termine. Se espera 10 minutos y se comienza el mismo experimento pero con una K_p diferente. Al final se tendrán 6 tablas de datos correspondientes a K_p de 30, 50, 70, 100, 150 y 200.

El segundo experimento es muy parecido al primero y tiene como objetivo cuantificar la relación que existe entre el tiempo de muestreo y el desempeño de la planta. El desarrollo de la prueba es idéntico al del experimento 1, pero el parámetro a variar será el tiempo de muestreo y el constante será K_p con un valor fijo de 50. Se realizan 4 pruebas que corresponden a tiempos de muestreo de 0.1, 1, 5 y 10 segundos.

A continuación se presentan la tabla de resultados con sus gráficas correspondientes.

Observe que para el experimento 1 la mejor respuesta es para una constante $K_p=50$ ya que es la que mayor tiempo se mantiene en 40°C con un error de $+1^\circ\text{C}$, con un tiempo aproximado de subida de 4:45. Para las constantes de 70, 100, 150 y 200 el tiempo de subida mejora (4:30, 4:00, 3:30 y 3:15 respectivamente) pero presenta un error de estado estable de $+1^\circ\text{C}$ y $+2^\circ\text{C}$ para $K_p=200$. Por último, la gráfica para $K_p=30$ indica que nunca se llega al valor de referencia preestablecido (40°C) quedando a -1°C de dicho valor.

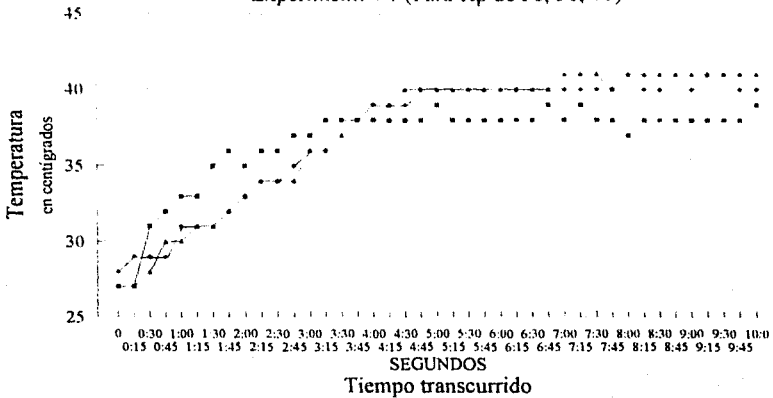
En los resultados del segundo experimento se advierte claramente la importancia de seleccionar un tiempo de muestreo adecuado al sistema. La mejor respuesta se obtiene para un $T_s=1$ segundo. Para T_s de 0.1 y 5 segundos se alcanza por un tiempo la temperatura de referencia pero después sobrepasa en $+1^\circ\text{C}$ y $+2^\circ\text{C}$ este valor. El peor de los casos es cuando $T_s=10$ segundos porque se tiene un error en estado estable de $+3^\circ\text{C}$, aunque el tiempo de subida es el más corto (3:15).

Tabla de resultados del experimento 1

Ts = 1 seg

TIEMPO * min:seg *	TEMPERATURA					
	KP=30	KP=50	KP=70	KP=100	KP=150	KP=200
0	27	28	27	29	32	31
0:15	27	29	27	29	32	31
0:30	31	29	28	30	32	32
0:45	32	29	30	31	33	32
1:00	33	31	30	32	34	32
1:15	33	31	31	33	34	34
1:30	35	31	31	34	35	35
1:45	36	32	32	34	36	36
2:00	35	33	33	35	36	36
2:15	36	34	34	36	37	37
2:30	36	34	34	37	37	38
2:45	37	35	34	38	37	38
3:00	37	36	36	39	38	39
3:15	38	36	36	39	39	40
3:30	38	38	37	39	40	40
3:45	38	38	38	39	40	40
4:00	38	39	38	40	40	41
4:15	38	39	39	41	40	42
4:30	38	39	40	40	40	40
4:45	38	40	40	40	40	40
5:00	39	40	40	40	40	40
5:15	38	40	40	40	40	40
5:30	38	40	40	40	40	39
5:45	38	40	40	40	40	40
6:00	38	40	40	40	41	40
6:15	38	40	40	40	40	40
6:30	38	40	40	41	40	41
6:45	39	40	40	41	41	42
7:00	38	40	41	40	41	42
7:15	39	40	41	41	41	41
7:30	38	40	41	41	41	42
7:45	38	40	40	41	41	41
8:00	37	41	41	40	41	42
8:15	38	40	41	41	41	42
8:30	38	40	41	41	41	42
8:45	38	41	41	41	41	42
9:00	38	40	41	41	41	42
9:15	38	41	41	41	41	42
9:30	38	41	41	41	41	41
9:45	38	40	41	41	41	41
10:00	39	40	41	41	41	41

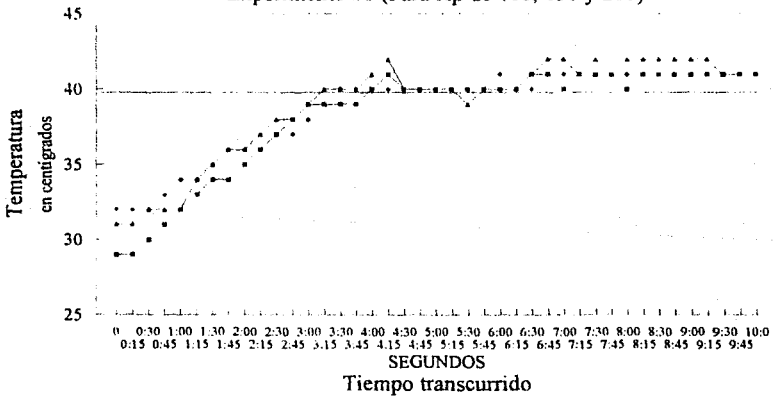
CARACTERISTICAS DEL CONTROL PROPORCIONAL Experimento #1 (Para K_p de 30, 50, 70)



• $K_p=30$ • $K_p=50$ • $K_p=70$

Tempo de muestreo de 1 segundo
Temperatura de referencia = 40° C

CARACTERISTICAS DEL CONTROL PROPORCIONAL Experimento #1 (Para K_p de 100, 150 y 200)



• $K_p=100$ • $K_p=150$ • $K_p=200$

$T_s=1$ scg
Temperatura de referencia = 40° C

Tabla de resultados del experimento 2

$K_p = 50$

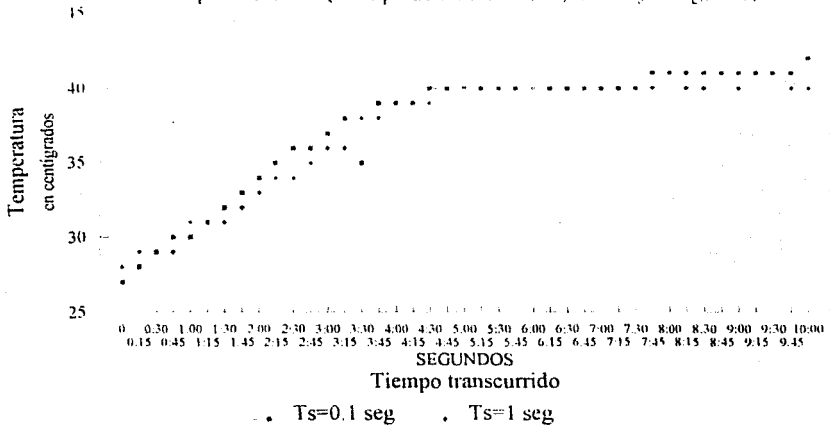
* TEMPERATURA *				

TIEMPO	TS=0 1 seg	TS=1 seg	TS=5 seg	TS=10 seg *

0	27	28	29	29
0:15	28	29	29	29
0:30	29	29	30	30
0:45	30	29	30	31
1:00	30	31	32	32
1:15	31	31	32	33
1:30	32	31	33	34
1:45	33	32	34	35
2:00	34	33	34	36
2:15	35	34	35	37
2:30	36	34	36	39
2:45	36	35	37	39
3:00	37	36	38	39
3:15	38	36	38	40
3:30	35	38	39	41
3:45	39	38	39	41
4:00	39	39	39	42
4:15	39	39	39	42
4:30	40	39	40	43
4:45	40	40	40	43
5:00	40	40	40	43
5:15	40	40	40	42
5:30	40	40	40	43
5:45	40	40	40	43
6:00	40	40	40	42
6:15	40	40	40	42
6:30	40	40	40	42
6:45	40	40	40	42
7:00	40	40	40	42
7:15	40	40	40	42
7:30	40	40	40	42
7:45	41	40	40	42
8:00	41	41	41	42
8:15	41	40	41	42
8:30	41	40	41	42
8:45	41	41	41	42
9:00	41	40	41	42
9:15	41	41	41	42
9:30	41	41	41	42
9:45	41	40	41	42
10:00	42	40	41	42

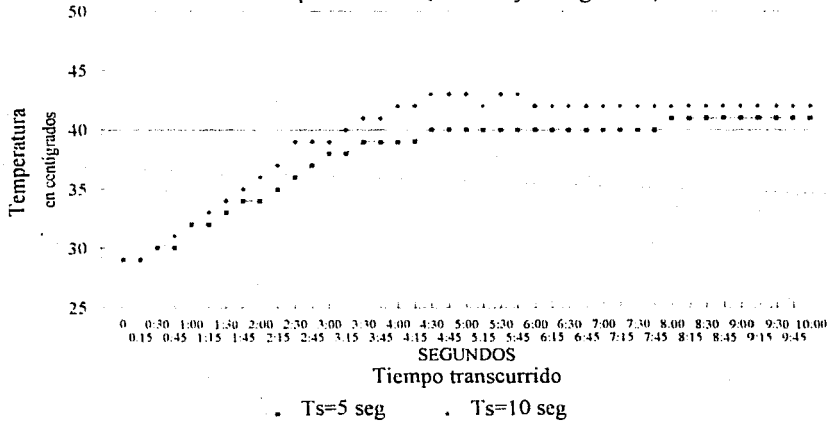
CARACTERISTICAS DEL CONTROL PROPORCIONAL

Experimento #2 (Tiempo de muestreo (T_s) de 0.1 y 1 segundo)



CARACTERISTICAS DEL CONTROL PROPORCIONAL

Experimento #2 (T_s de 5 y 10 segundos)



CONCLUSIONES

La presente tesis pretende poner al alumno en contacto con los fenómenos químicos y procesos de producción automatizados, que hoy en día representan el objeto del conocimiento. El estudiante tendrá la oportunidad de relacionarse con los fenómenos naturales y poder aplicar sus conocimientos adquiridos en el transcurso de su carrera, siendo un protagonista en la actividad experimental.

Como conclusión específica entre el estudiante y el fenómeno existirá un contacto sin interposiciones, donde el estudiante realizará las pruebas experimentales desarrolladas en esta tesis observando y midiendo, por lo menos los eventos señalados en ella; así mismo podrá visualizar el control y sus diferentes etapas para la automatización de cualquier proceso .

Es necesario por lo menos para iniciar un proceso químico tener conocimientos de las propiedades tanto físicas como químicas de cada reactivo , de esta manera podremos saber que tipo de reacción (endotérmica, paralela, reversible, etc.) y bajo que condiciones (presión, temperatura, etc.) se llevará a cabo, observando y analizando durante su desarrollo sus características .

También es de vital importancia tener específicamente bien definida la reacción y el volumen de producción para poder seleccionar adecuadamente y en base a las características antes mencionadas el tipo de reactor a emplear (batch, continuo, etc.).

Para la investigación de los diferentes tipos de reactores y reacciones no tuvimos gran problema debido a que tuvimos asesoramiento por parte de ingenieros químicos del laboratorio de reactores de la Facultad de Ingeniería, UNAM . Respecto al material se nos presentaron principalmente problemas en el tiempo de entrega por parte de los distribuidores principalmente las electroválvulas actuadas por selenoide y regresadas por resorte (tres meses); el material de vidrio a pesar de presentar adaptaciones se llevo un tiempo adecuado (un mes) de entrega.

La construcción física de nuestro reactor presento muchos problemas principalmente en la etapa de ensamblaje y conexión con el material de vidrio, solucionandose con creatividad y conocimientos adquiridos durante nuestra formación como ingenieros.

En suma, lo que se pretende es aproximar al estudiante con cualquier tipo de fenómeno y resuelva el problema planteadado, empleando cualquier técnica de diseño. En nuestro caso resolvimos el problema de la reacción específica mediante la automatización de su proceso, que hoy en día es de suma importancia para cualquier industria que requiera ser competitiva en el mercado.

No sólo fué necesario la aplicación de los conocimientos adquiridos al traves de la carrera para llevar al cabo el proyecto de tesis que se ha descrito, sino que también fué necesario tener conocimiento básicos en el manejo de herramientas y materiales.

El trabajo se puede dividir en dos partes, una que es la "artesanal", que comprende los métodos y técnicas empleados para construir la planta (la que ha consumido el mayor tiempo), y la otra que se refiere al diseño y construcción de los sistemas electrónicos que controlan la planta.

La mayoría de las tarjetas electrónicas han sido diseñadas y construidas por nosotros, y a pesar de su aparente simplicidad, el desempeño que han tenido...hasta el momento, permite operar la planta correctamente.

Con la experiencia adquirida en los proyectos desarrollados a través de la carrera, se ha facilitado enormemente la tarea de implementar los circuitos electrónicos que se han diseñado. Cada uno de los circuitos se ha construido sobre tarjetas perforadas, alambradas lo más ordenadamente posible y probadas individualmete. La ventaja de hacer el sistema electrónico en módulos, y cada módulo en tarjetas individuales, se observa al momento de probar el sistema en su totalidad, dado que de ésta forma es muy facil localizar y reparar las fallas que se presentan. A fin de cuentas, hacer "bien" un trabajo cuesta un "poco" más de esfuerzo, pero tiene consecuencias que repercuten más allá del esfuerzo empleado y que representa confiabilidad y eficiencia para el sistema desarrollado, cualidades que podemos aplicar al proyecto en base a las pruebas que se la han hecho.

El reactor y su sistema de control se han desarrollado como un prototipo y su buen desempeño depende de la correcta selección de las variables de control, mismas que no han sido específicamente determinadas dado que se requiere la realización de muchos experimentos reales para encontrar el valor óptimo de cada una de ellas. No obstante se hace un estudio preliminar del comportamiento del

reactor al utilizar agua como reactivo. Los resultados de los experimentos muestran muy claramente que el desempeño del sistema depende directamente del valor de las constantes que se escojan.

La naturaleza del problema (que en general es la automatización de un proceso) permite una gran diversidad de soluciones (ó posibles soluciones), de las cuales hemos propuesto y desarrollado una de ellas, la que a nuestro juicio es el mejor fin a nuestras necesidades, en base, principalmente al costo en el desarrollo. Por desgracia no fué posible preparar un análisis del costo real del proyecto, debido principalmente a que mucho del materiales es casero y se desconoce su valor en el mercado. No obstante hemos realizado un cálculo preliminar que indica un desembolso total de aproximadamente NS\$5,000.

No dimos cuenta, que tenemos la capacidad de analizar un problema, proponer diferentes soluciones y sobre todo implementar, realizar y crear sistemas que no existían con anterioridad y nos permiten resolver el problema que se nos ha planteado.

BIBLIOGRAFIA

W. L. Luyben. *Process Modeling, Simulation and Control of Chemical Engineers*. McGraw Hill. International Student Edition. 1981.

Charles L. Phillips/H. Troy Nagle, Jr. *Sistemas de control digital. análisis y diseño*. Colección Ciencia Electrónica. Gustavo Gill S. A. de C. V. 1987.

Robert H. Perry. *Biblioteca del ingeniero químico*. McGraw Hill, quinta edición, 1987.

Harry N. Norton. *Sensores y Analizadores*. Colección Electrónica/Informática. Gustavo Gill S. A. de C. V. 1984.

Kirk - Othmer. *Enciclopedia of Chemical Technology*. Wiley - Interscience. third edition.

HC11, M68HC11 Reference Manual. Motorola Inc. 1991.

MC68HC11E9, HCMOS Single - Chip Microcontroller. Motorola Inc. 1991.

MC68HC11EVBU, Universal Evaluation Board User's Manual. Motorola Inc. 1991.

National Semiconductor. *Data Acquisition Linear Device Databook*, 1989

Texas Instruments. *The Power Semiconductor Data Book of desing engineers*, first edition.

GE Solid State Data Book. *Optoelectronics Device*, 1989.

APENDICES

APENDICE I

Laboratorio de ingeniería química

AP-1

APENDICE II

Propiedades de los reactivos

AP-5

APENDICE III

Propagación del calor por radiación

AP-11

APENDICE IV

Integración y diferenciación numérica

AP-15

APENDICE V

Esquemas y diagramas

AP-17

APENDICE I

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

En el Laboratorio de Ingeniería Química se nos proporcionó la siguiente información necesaria e indispensable para recabar información y poder realizar nuestro proyecto. También se anexa la práctica a automatizar.

PRESENTACION

El presente programa del laboratorio de Ingeniería de Reactores, pretende poner al alumno en contacto con los fenómenos específicos, objeto del conocimiento. Esto es, el estudiante tendrá la oportunidad de relacionarse con los fenómenos naturales, siendo un protagonista en la actividad experimental.

Entre el estudiante y el fenómeno existirá un contacto sin interposiciones. Así, la información mínima, necesaria para garantizar la presencia del fenómeno a estudiar, estará contenida en el correspondiente guión de enseñanza experimental.

El estudiante realizará las pruebas experimentales, observando y midiendo por lo menos, los eventos señalados en ella. A partir de estas mediciones, obtenidas en forma personal y directa, el estudiante debe establecer relaciones de causalidad en el sistema de bajo estudio. Los modelos fenomenológicos propuestos por el alumno deberán estar respaldados y en absoluta congruencia con los resultados experimentales.

Las herramientas del alumno son su formación teórico-práctica, sus sentidos y el guión de enseñanza experimental. El papel del profesor será el de asesorar al alumno en la correcta operación de los equipos, no interponiéndose entre el estudiante y las manifestaciones experimentales del fenómeno. En la evaluación, el profesor habrá de constatar la correspondencia entre los modelos propuestos, las manifestaciones experimentales del fenómeno bajo estudio, y la apropiación del conocimiento alcanzada por el alumno.

En suma, lo que se pretende es aproximar al estudiante hasta una cierta distancia, para que

él desde ahí, por su propio pie. de los dos o tres últimos pasos y llegue al punto deseado, entre en contacto con el fenómeno y resuelva el problema planteado. o lo que es lo mismo, se cumpla el objetivo de la enseñanza experimental.

PRACTICA I

HIDROLISIS DEL DIACETATO DE ETILENGLICOL (HDAEG)

OBJETIVO: Establecer un esquema de reacción para la hidrólisis del diacetato de etilén-glicol (HDAEG).

PROCEDIMIENTO:

Llevar a cabo la reacción a una temperatura de reacción de 80 °C.

DESARROLLO EXPERIMENTAL:

1.-	Montar el equipo.
2.-	El reactor deberá estar perfectamente enchaquetado para evitar pérdidas de calor.
3.-	La composición de la mezcla inicial de reacción debe estar en proporción estequiométrica, para evitar la presencia de un reactivo limitante.

4.-	Se mantendrá la temperatura constante de 80 °C durante el transcurso de la reacción. Los reactivos deben precalentarse hasta la temperatura de reacción, antes de ser mezclados, tener cuidado que el termómetro permanezca sumergido en el líquido.
5.-	La presión será la atmosférica, manteniendo destapada la boca superior del refrigerante.
6.-	Para el análisis, se requieren muestras de aproximadamente 0.1 ml. , las cuales se colocarán en el hielo para detener la reacción.

La parrilla inferior únicamente se empleará para agitar, el calentamiento se efectuará por medio de la canastilla de calentamiento conectada a un reóstato. No conecte directamente la canastilla a la toma de corriente y empiece a realizar la práctica.

ANÁLISIS DE REACTIVOS POR CROMATOGRAFIA DE GASES.

El seguimiento de la cinética de una reacción, requiere un método de análisis que nos permitirá identificar y cuantificar las especies de reaccionantes. El análisis por cromatografía de gases es un método que reúne las condiciones de eficiencia y rapidez requeridas en el presente programa de prácticas.

DESCRIPCION DE UN CROMATOGRAFO DE GASES.

A.- Puerto de inyección. Aquí ingresa la muestra, la temperatura del puerto se elige en 20-30 °C sobre la temperatura de la columna.

B - Columna Se trata de una columna empacada donde se lleva a cabo la separación. El empaque se elige de acuerdo a la mezcla a analizar. La temperatura de la columna se puede establecer en un rango desde 20 °C bajo el punto de ebullición de la sustancia de mayor punto de ebullición, hasta 30 °C sobre esta temperatura.

C.- Detector. Traduce la presencia de sustancias en una señal eléctrica de manera directamente proporcional entre la cantidad de reactivo e intensidad de corriente. Los tipos empleados usualmente, son el detector de ionización de flama y el de conductividad térmica.

El detector de ionización de flama es de mayor sensibilidad, pero tiene el inconveniente de no detectar agua, aire ni CO_2 , entre otros.

D.- Registrador. recibe la señal eléctrica proveniente del detector y la transforma en una línea continua trazada sobre un papel deslizante. La presencia de un sustancia queda registrada como un pico, cuya área es proporcional al peso de la sustancia. Siendo la suma total de las áreas, proporcional al peso total de las muestra.

Existen cromatógrafos computarizados e interfases que conectan al cromatógrafo con una computadora, la cual se puede programar. En ambos casos el reporte consiste de los datos de áreas y pueden incluirse los datos de por ciento en peso o directamente concentraciones.

APENDICE II

PROPIEDADES DE LOS REACTIVOS

SIMBOLOGIA

p.e. = Peso específico.

p.eb. = Punto de ebullición.

p.c. = Punto de congelamiento.

ind.ref. = Índice de refracción.

p = Peso.

p.f. = Punto de fusión.

p.v. = Presión de vapor.

p.inf. = Punto de inflamación.

ETILENGLICOL

(ETHYLENE GLYCOL). (ALCOHOL ETILENICO, GLICOL, 1,2 ETANODIOL.)

$\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}^1$. Es el glicol más simple.

PROPIEDADES:

Líquido siruposo, transparente, incoloro; sabor dulce; higroscópico; rebaja el punto de congelación del agua. Relativamente involátil, inodoro, soluble en agua, alcohol y éter. P.e.=1.155 (20 °C); p. eb.= 197.2 °C; p.c.- 13.5 °C; ind. ref.= 1430 (25 °C); punto de inflamación = 116 °C; combustible; temperatura de autoignición 412.5 °C.

OBTENCION:

- Calentando clorhidrina etilénica con una solución de carbonato o bicarbonato alcalino.
- Oxidación de etileno con aire seguido de hidratación del óxido de etileno formado.
- A partir de formaldehído, agua y CO, con hidrogenación del ácido glicólico resultante.

CALIDAD: técnica.

PELIGROS:

Tóxico por ingestión; según las informaciones obtenidas la dosis es de 100 cc.

USOS:

Refrigerante y anticongelante; pinturas de emulsión de asfalto; agente transmisor de calor en tubos refrigerantes y electrónicos; laminados a baja presión; líquidos de frenos; diacetato de glicol; fibras y películas de poliéster, etc.

¹ Fórmula tomada del libro: "Diccionario de química y productos químicos", Gessner G. Hawley, segunda edición. Editorial Omega.

Las fórmulas químicas de este proceso químico y que aparecen en este apéndice son tomadas de la bibliografía anterior.

DIACETATO DE ETILENGLICOL

(ETHYLENEGLYCOL DIACETATE). (DIACETATO DE GLICOL).



PROPIEDADES:

Líquido incoloro; olor débil, soluble en alcohol, éter y benceno; ligeramente soluble en agua (10%); p.e. 1.1063 (20/20 °C) p.eb. 190.5 °C (760 mm); presión de vapor 0.3 mm (20 °C); punto de inflamación 105 °C; p.c. -41.5 °C; ind. ref. (n 20/D) 1.415. Combustible poco tóxico.

OBTENCION:

- a) Etilenglicol y ácido acético.
- b) Dicloruro de etileno y acetato sódico.

USOS:

Disolvente de esteres y eteres de celulosa; resinas; lacas; tintas de imprenta; fijador de perfumes; plastificante no decolorante para etil- y bencilcelulosa.

MONOACETATO DE ETILENGLICOL

(ETHYLENE GLYCOL MONOACETATE). (MONOACETATO DE GLICOL). $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_4\text{OH}$

PROPIEDADES:

Líquido incoloro; casi inodoro; soluble en alcohol, éter, benceno y tolueno; parcialmente soluble en agua. p.eb.= 181-182 °C, p.e.=1.108. Punto de inflamación = 102 °C . Combustible poco tóxico.

OBTENCION.

- a) Calentando el etilenglicol con ácido acético glacial o anhídrido acético.
- b) Haciendo pasar oxido de etileno sobre ácido acético caliente que contenga acetato sódico o ácido sulfúrico.

USOS:

Disolvente de la nitrocelulosa, acetato de celulosa, alcanfor.

ACIDO ACETICO

(ACETIC ACID). (ACIDO ETANOICO, ácido del vinagre, ácido metanocarboxílico) CH_3COOH

Acido acético glacial es el nombre del compuesto puro (98% mínimo), que lo diferencia de las soluciones acuosas frecuentemente halladas y que reciben el nombre de ácido acético. El vinagre es un ácido acético diluido.

PROPIEDADES:

Líquido claro e incoloro, olor muy picante. p.f.= 16.63 °C; p.eb.=118 °C (765 mm), 80 °C (202 mm); p.e. 1.0492 (20/4 °C); viscosidad (20 °C) 1.22 cps; p.inflamación (vaso abierto) 43.3 °C; ind. ref. = 1.3715 (20 °C). Miscible con agua, alcohol, glicerina y éter; insoluble en sulfuro de carbono; temperatura de autoignición 426 °C.

OBTENCION:

- a) Oxidación catalítica de gases de petróleo en fase líquido y vapor.
- b) Oxidación del acetaldehído.
- c) Reacción del metanol con monóxido de carbono.
- d) Directamente de la nafta.

USOS:

Elaboración de anhídrido acético, acetato de celulosa y el monomero de acetato de vinilo, esterres acéticos, ácido cloroacético, colorantes, etc.

PELIGROS:

Inflamable, moderado riesgo de incendio. Altamente tóxico por ingestión, poderoso irritante de los tejidos.

AGUA

(WATER). (HIELO, VAPOR) H_2O

PROPIEDADES:

Líquido incoloro, inodoro e insípido. Las formas alotrópicas son el hielo (sólido) y vapor (gaseoso). El agua es un líquido altamente polar con alta constante dieléctrica (81 a 17 °C), lo que explica su poder disolvente. Es un electrólito débil, que ioniza como H_3O^+ y OH^- . A la presión atmosférica tiene un p.e.= 94 (174 °C); p.c.= 0 °C (32 °F) y se dilata aproximadamente al 10% cuando se congela; viscosidad 0.01002 poises (120 °C). Calor específico = 1 cal. por gramo; presión de vapor (100 °C)= 760 mmHg.; Ind. ref.= 1.333. El agua puede ser supercalentada en un autoclave e incrementando la presión y puede ser superenfriada por adición de cloruro sodico u otro compuesto ionizante. Tiene actividad catalítica definida, especialmente de oxidación metálica.

OBTENCION:

- a) Oxidación de hidrógeno.
- b) Producto final de combustión.
- c) Producto final en una reacción-base.
- d) Producto final de reacción de condensación.

PURIFICACION:

- a) Destilación.
- b) Reacción intercambio de iones (zeolita).
- c) Cloración.
- d) Filtración.

USOS:

Fabricación de papel; procesos textiles; disolvente; enfriante; industrial; filtración; lavados y purgas; hidrólisis, sistemas hidráulicos, fuente de energía, generación de vapor, etc. .

APENDICE III

PROPAGACION DEL CALOR POR RADIACION

Cuando un cuerpo está situado en un recinto de temperatura más o menos elevada que su propia temperatura, siempre se observa que la temperatura del cuerpo sube o baja progresivamente hasta igualarse con la del recinto; el calor, pues, se transmite de un cuerpo a otro a través del espacio. Esta propagación a todas distancias y todos sentidos se designa con el nombre de "RADIACION" y se le llama así mismo "ABSORCION" a la inversa de ésta, es decir, la penetración del calor radiante en los cuerpos.

En el estudio del calor radiante hay que distinguir el calor "oscuro" y el "luminoso": el primero es el que emite un cuerpo no luminoso, como un vaso lleno de agua a 100 grados centígrados, siendo el segundo el emitido por un cuerpo luminoso, como el Sol o una masa metálica calentada al rojo.

LEYES DE LA RADIACION

La radiación del calor se diferencia de la conductividad por las tres características siguientes:

- 1.- La radiación se verifica en todas direcciones alrededor de los cuerpos.
- 2.- En un medio Homogéneo la radiación se efectúa en línea recta.
- 3.- El calor se propaga en el vacío.

LEYES DE REFLEXION DEL CALOR RADIANTE

Cuando los rayos caloríficos caen sobre una superficie de un cuerpo, se dividen generalmente en dos partes: unos penetran a la masa del cuerpo y los otros se reflejan.

La reflexión del calor radiante está sujeta, lo mismo que la de la luz, a las dos leyes siguientes:

- 1.- El ángulo de reflexión es igual al de incidencia.
- 2.- El rayo incidente y reflejado están en un mismo plano, perpendicular a la superficie reflejada.

PODER REFLECTOR

Llámesese así a la propiedad que posee una substancia de reflejar una parte más o menos considerable del calor incidente.

PODER DIFUSIVO

Se llama poder difusivo absoluto de una substancia para el calor, la relación de la cantidad total de calor reflejado en todas las direcciones a la cantidad del calor incidente. El poder difusivo depende de la naturaleza del "foco calorífico" y de la superficie "refleitora". Para el negro de humo, los metales, y el cristal brillante, el poder difusivo es muy pequeño; con los metales, el vidrio deslumbrado y el papel, el poder difusivo es más o menos grande, según la naturaleza del foco calorífico.

PODER ABSORBENTE

Es la propiedad que poseen los cuerpos de dejar penetrar en su masa una porción considerable del calor incidente. El poder absorbente de un cuerpo está siempre en orden inverso de su poder reflector; es decir, que cuanto más calor refleja un cuerpo menos absorbe, y viceversa, sin que por esto sean complementarios ambos poderes; esto es, que la suma de las cantidades de calor reflejado y absorbido no representan la totalidad de calor incidente, sino una cantidad siempre menor, lo cual proviene de que

el calor incidente se divide en tres partes, a saber: 1ª, una que es absorbida y calienta el cuerpo; 2ª, otra que es reflejada con regularidad, según las leyes antes mencionadas y 3ª, otra parte que se refleja de un modo irregular. Además, para cierto número de cuerpos hay que considerar otra parte de calor, la que pasa a través de ellos sin calentarlos.

PODER EMISIVO

El poder emisivo o radiante de los cuerpos es la propiedad que tienen los mismos de emitir en igualdad de temperatura y superficie una cantidad mayor o menor de calor.

CAUSAS QUE MODIFICAN LOS PODERES REFLECTOR, ABSORBENTE Y EMISIVO

Siendo proporcionales los poderes absorbente y emisivo; toda causa que modifique a uno, modifica necesariamente al otro en el mismo sentido; en cuanto al poder reflector, como su marca signa un orden inverso al de los otros dos, toda causa que aumente el valor de éstos disminuye el de aquél, y recíprocamente.

Ya se ha visto que estos poderes varían según la sustancia, y que los metales son los cuerpos que tienen el mayor poder reflector, mientras que el negro de humo es más débil; pero en un mismo cuerpo se modifican además estos poderes por el grado de pulimento, densidad, espesor de la sustancia radiante o reflejada, por el estado físico de esta sustancia, oblicuidad de los rayos incidentes o emitidos, naturaleza del manantial de calor y, finalmente por la especie del calor, según sea oscuro o luminoso.

PODER REFLECTOR

El poder reflector varía con la inclinación de los rayos incidentes, cuya influencia es poco perceptible en los metales,

pero en las sustancias transparentes la cantidad del calor reflejado aumenta rápidamente con el ángulo de incidencia. El poder reflector de los metales es mayor con el calor oscuro que con el luminoso.

PODER ABSORBENTE

En un mismo cuerpo el poder emisivo varía con la temperatura. El estado físico de una sustancia hace que varíe también su poder emisivo, así como el espesor de los cuerpos. El poder absorbente varía también con la inclinación de los rayos incidentes, y alcanza su máximo poder bajo la incidencia normal, disminuyendo a medida que aquéllos se separan de ésta. En una palabra todas las causas que modifican el poder absorbente modifican en el mismo sentido el poder emisivo.

PODER DIATERMANO

Además de las propiedades que tienen los cuerpos de reflejar, absorber y emitir una muy pequeña cantidad considerable de calor, poseen la de dejar pasar calor, luz, etc. a través de ellos sin calentarse, como lo verifica la luz por los cuerpos transparentes; tal sucede con el aire, la sal de gema y el vidrio.

Las propiedades de los cuerpos diatermanos se han utilizado para separar la luz y el calor que se radian juntos de un mismo origen. La sal de gema cubierta con negro de humo, detiene por completo la luz y deja pasar el calor, y por el contrario unas láminas o ciertas disoluciones de alumbre detienen el calor y dejan pasar la luz. El yodo disuelto en bisulfuro de carbono produce el efecto contrario, pues absorbe los rayos luminosos y deja pasar el calor.

APENDICE IV

INTEGRACION Y DIFERENCIACION NUMERICA

Sea $m(kT)$ la integral de $e(t)$. Entonces, según la figura AP1, el valor de la integral para $t=(k+1)T$ es igual al valor de kT más el área añadida desde kT hasta $(k+1)T$. Entonces

$$m[(k+1)T] = m(kT) + \frac{T}{2} [e[(k+1)T] + e(kT)]$$

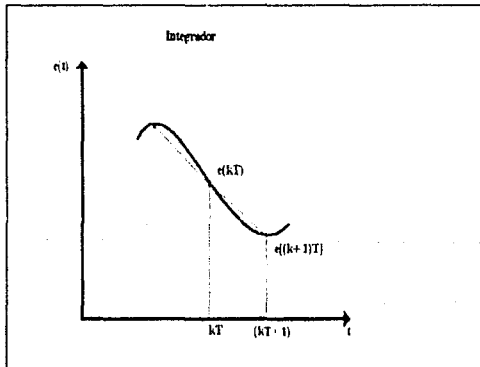
Tomando la transformada z , obtenemos

$$zM(z) - M(z) = \frac{T}{2} [zE(z) + E(z)]$$

Así pues

$$\frac{M(z)}{E(z)} = \frac{T}{2} \left[\frac{z+1}{z-1} \right]$$

Por consiguiente la ecuación anterior es la función de transferencia de un integrador discreto.



Conciderese ahora una técnica para diferenciar digitalmente una función $e(t)$. La figura AP3.2 ilustra el método. La pendiente de $e(t)$ en $t = kT$ es aproximadamente igual a la pendiente de la línea recta que conecta $e[(k-1)T]$. Entonces, según la figura AP3.2, siendo $m(kT)$ la derivada de $e(t)$ en $t = kT$, podemos escribir

$$m(kT) = \frac{e[(kT)] - e[(k-1)T]}{T}$$

Así pues

$$\frac{M(z)}{E(z)} = \frac{z-1}{Tz}$$

Nótese que este diferenciador es el recíproco de la función de transferencia para el integrador mediante la regla rectangular.

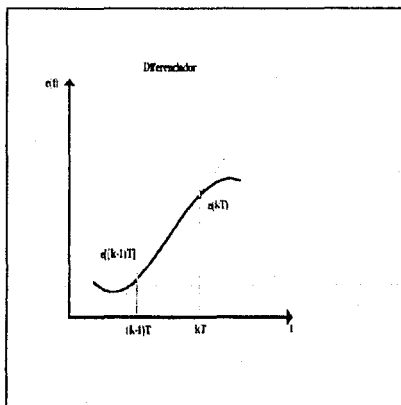
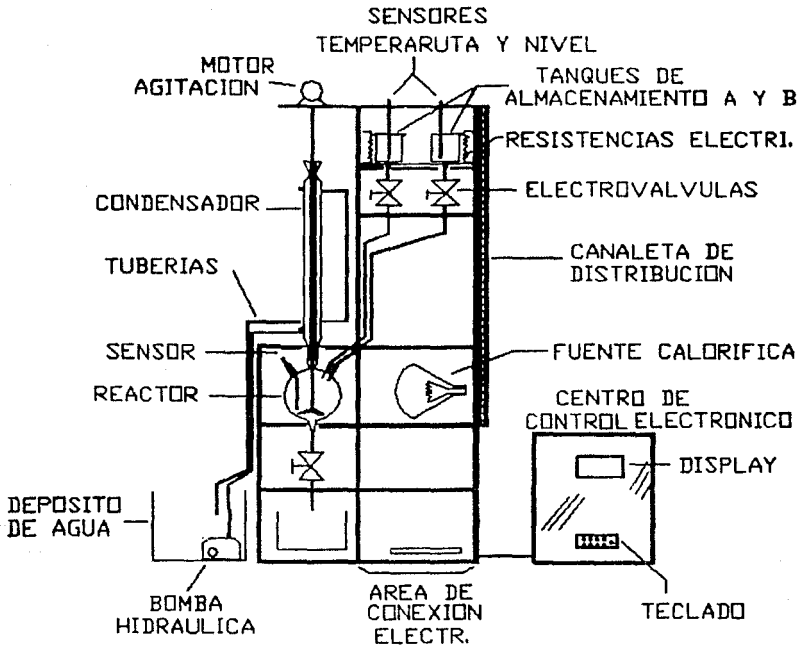
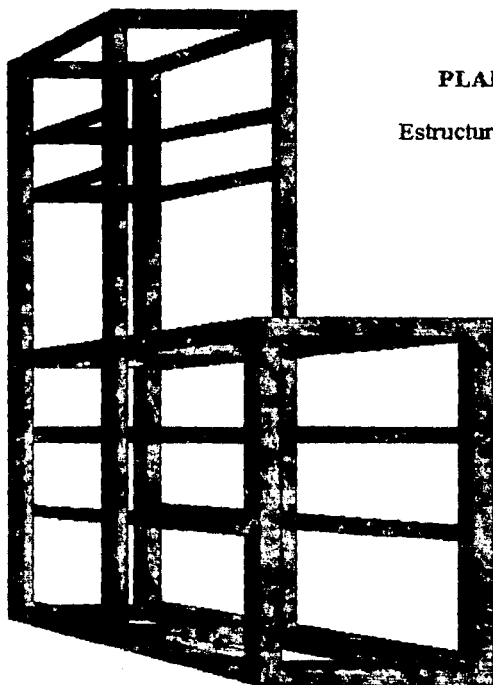


fig. AP3.2 Diferenciador discreto.





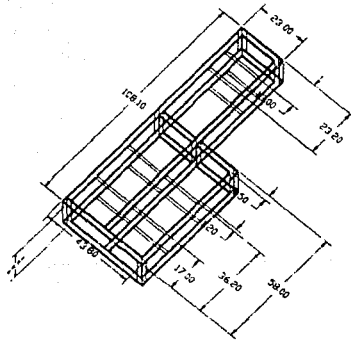
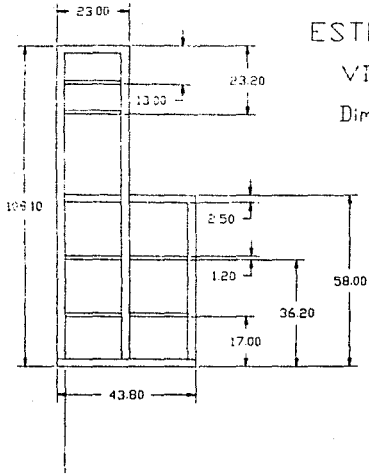
PLANTA

Estructura básica

ESTRUCTURA BASICA

VISTA LATERAL

Dimensiones en cm



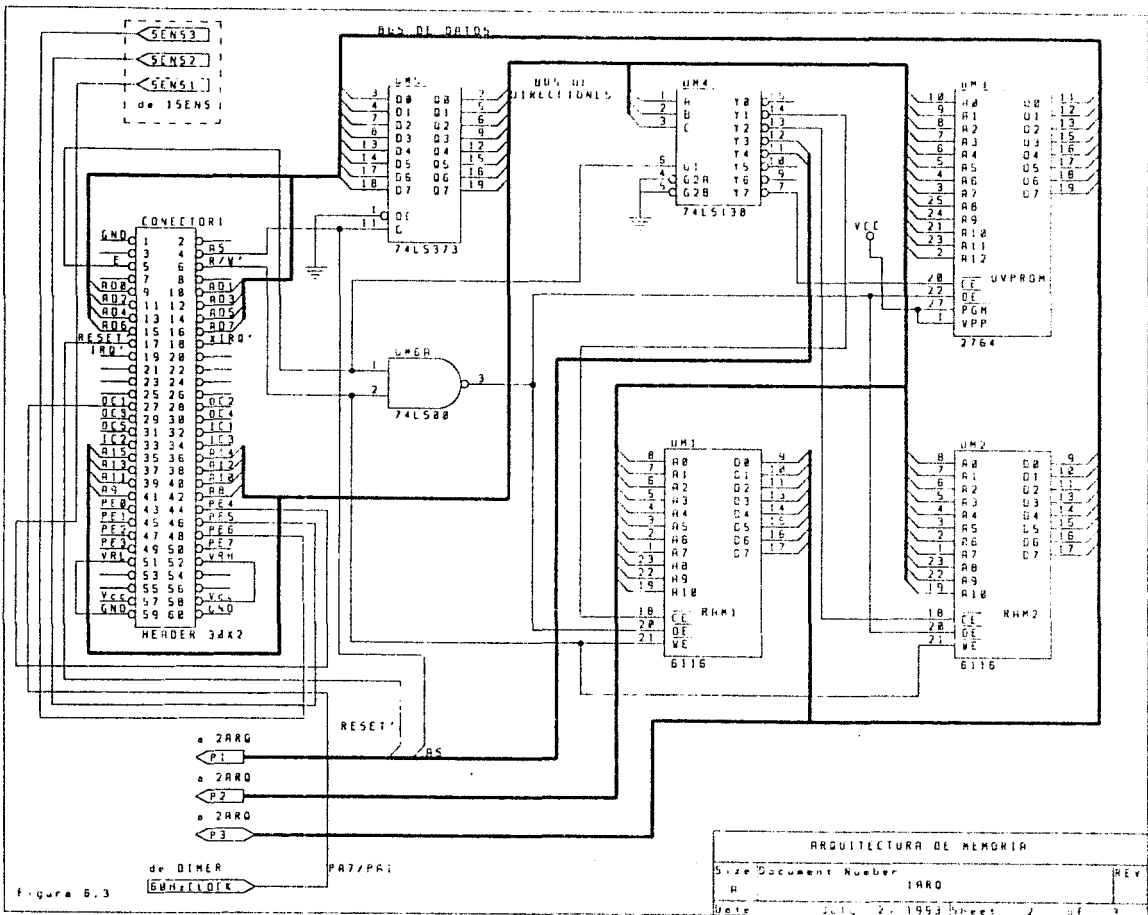


Figura 6.3

de DIMER
6W7101K

PA7/PA1

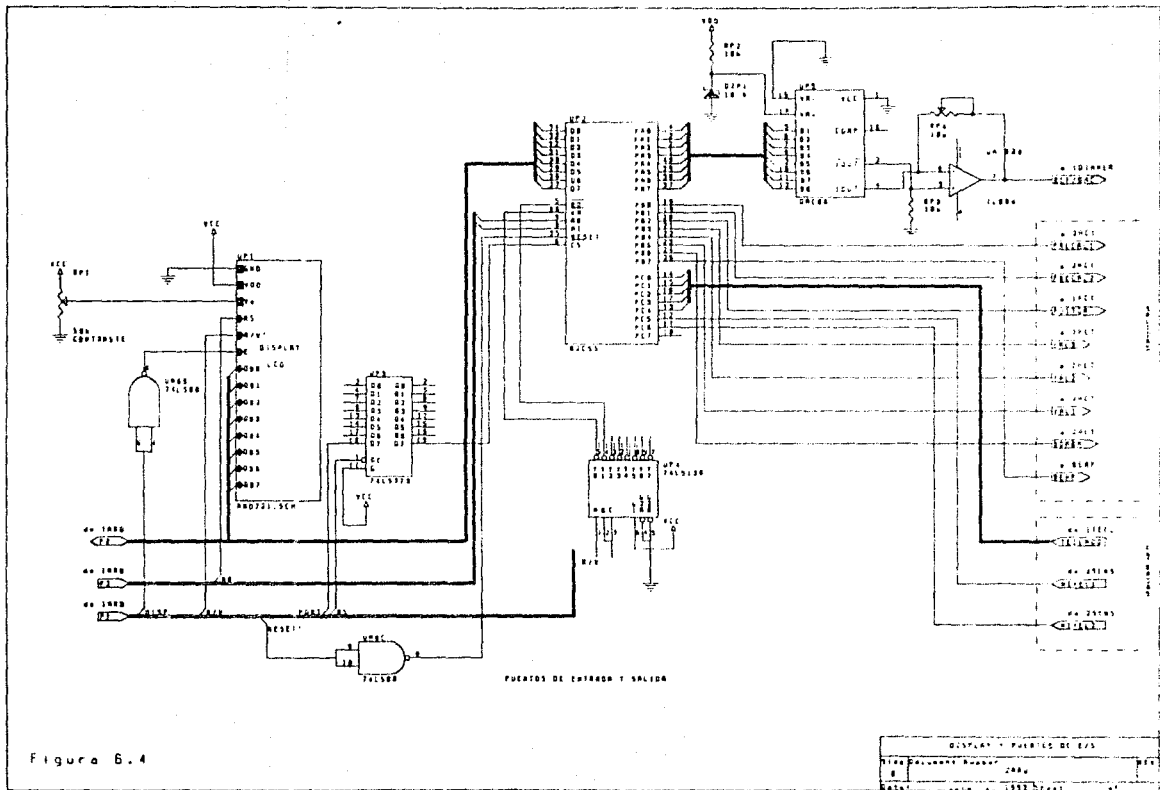
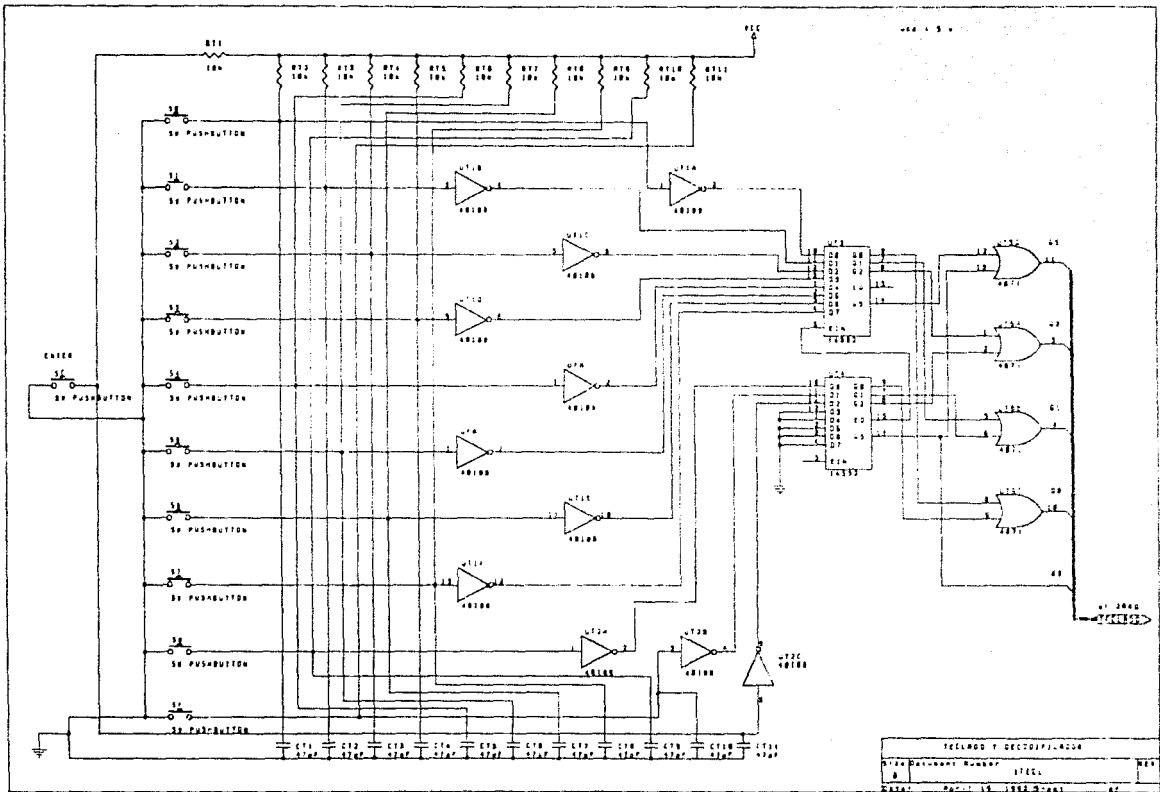
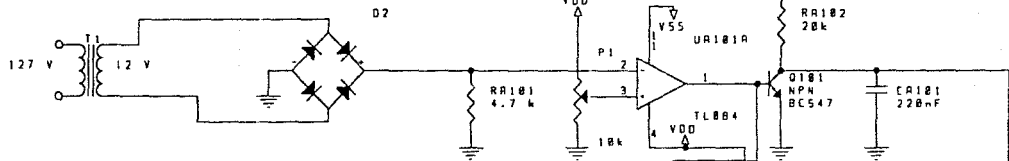
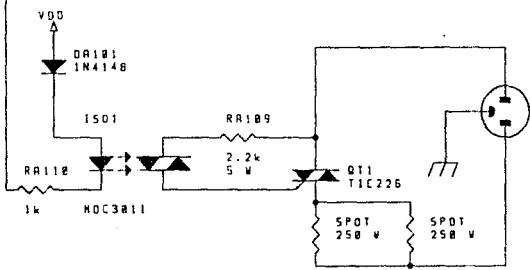
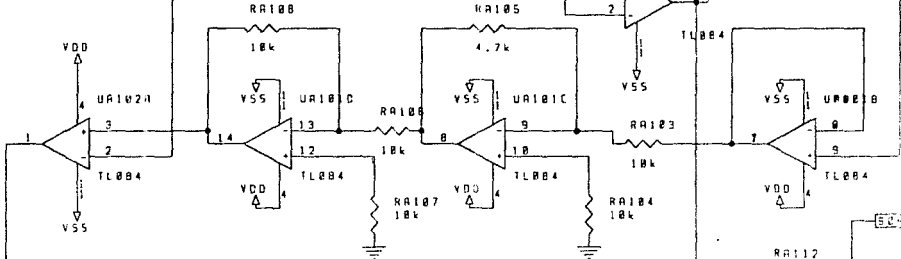


Figura 6.4



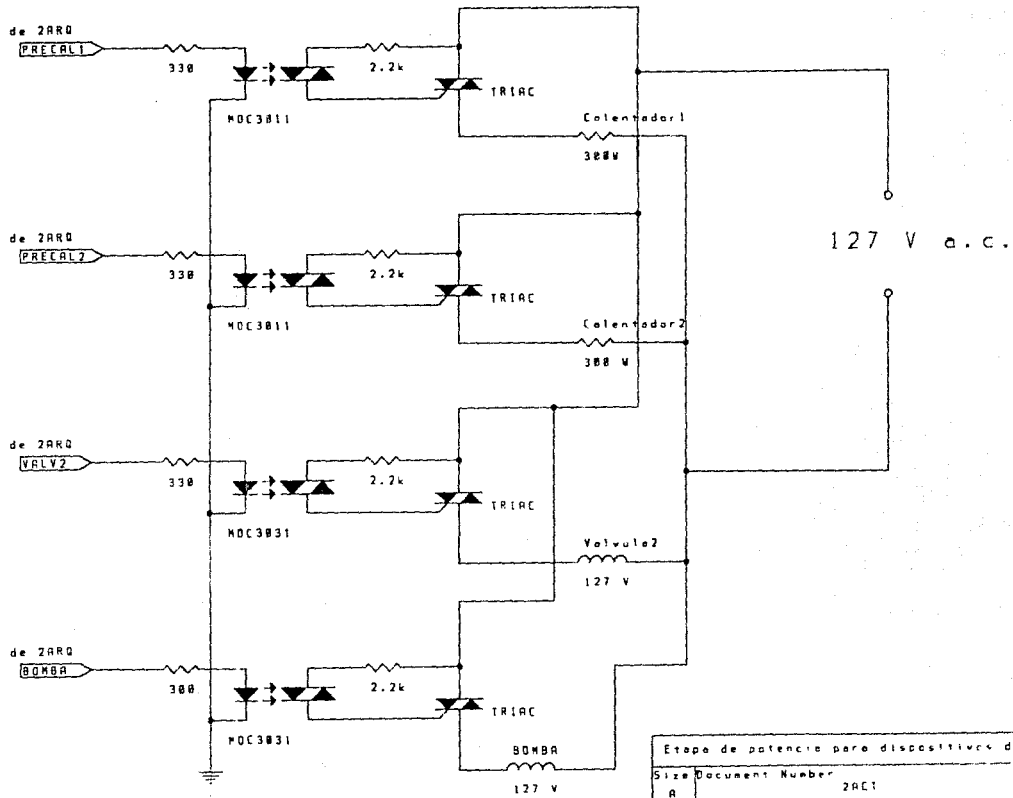


de 2AR0
REF/DAC



VDD= 12 V
VSS= -12 V

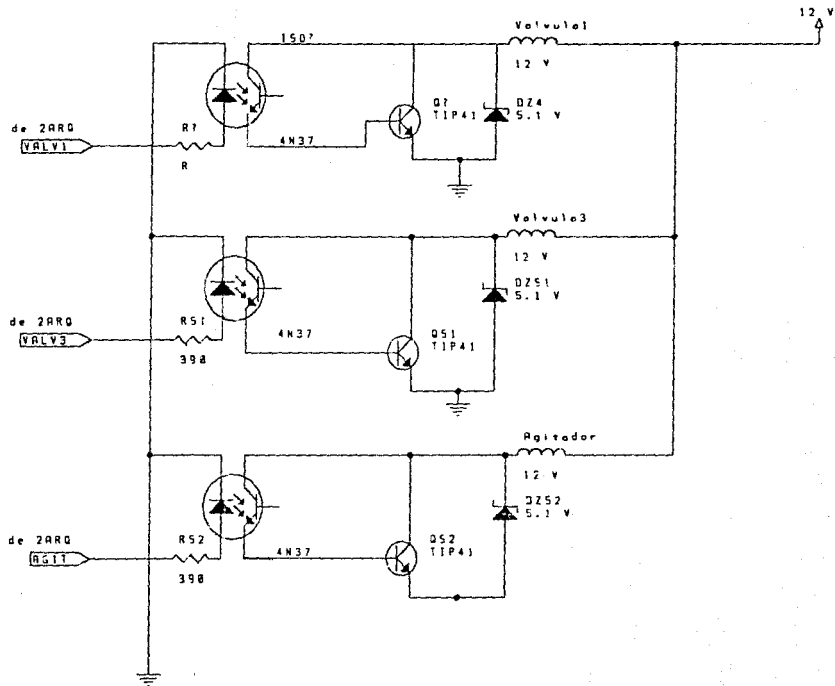
DIMER/PARTE ANALOGICA		
Size	Document Number	REV
A	10DIMMER	
Date:	July 2, 1993	Sheet 1 of 2



Etapa de potencia para dispositivos de a.c.

Size Document Number: 2ACT

Date: July 2, 1993 Sheet 1 of 1



Etapo de potencia para dispositivos de d.c.		
Size	Document Number	
A	1R11	
Date:	July 2, 1993	Sheet of