



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**



**“DISEÑO Y AUTOMATIZACION DE UN SISTEMA DE
CONTROL PARA UNA REACCION DE GRIGNARD
UTILIZANDO UN PLC SERIE 90-70 GE FANUC”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

MARTIN DIAZ SANCHEZ

Asesor: M. en C. Ricardo P. Hernández G.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1994.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AVENIDA DE
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIKE KELLER TORRES
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Diseño y Automatización de un Sistema de Control para una

Reacción de Grignard Utilizando un PLC, Serie 90-70 G.E. Fanuc.

que presenta el pasante: Martín Díaz Sánchez.

con número de cuenta: 8406477-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico.

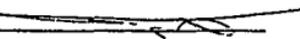
Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

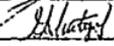
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 10 de Enero de 1974.

PRESIDENTE I.O. Jorge Martínez Peniche. 

VOCAL Dr. Rafael Fernández Flores. 

SECRETARIO M.en C. Ricardo P. Hernández García. 

PRIMER SUPLENTE I.O. Gilberto Atilano Amaya Ventura 

SEGUNDO SUPLENTE I.O. Ma. Elena Quiroz Macías. 

A mis padres:

Ya que su gran confianza en mí, me ha permitido avanzar en una etapa muy importante de mi vida.

A Noemí:

Por ser alguien tan especial y por "atar tu carreta a una estrella".

Pollito.

A mis hermanos:

Agradezco todo su apoyo y cariño que siempre me han demostrado.

A Sra. Blanca Estela:

Por todos sus consejos y por hacerme sentir parte de su familia.

A todos mis compañeros:

**Por Todos los buenos
momentos que hemos
convivido.**

A Ricardo P. Hernandez:

Por su valiosa ayuda en el desarrollo de este trabajo.

A todo el jurado:

Gracias por su tiempo y atención.

**INDICE**

| CAPITULO 1. | Pág. |
|-----------------------------------------------------|-------------|
| - Introducción | 1 |
| - Importancia de la Automatización de Procesos | 3 |
| - Conceptos Generales del Ejemplo de Aplicación | 4 |
| CAPITULO 2. | |
| - Descripción del Ejemplo de Aplicación | 8 |
| - Descripción del Hardware del PLC 90-70 G.E.FANUC. | 17 |
| - Bus de Comunicaciones I/O Distribuidas Genius | 29 |
| CAPITULO 3. | |
| - Instrumentación para PLC's. | 34 |
| - Tipos de Instrumentación | 35 |
| CAPITULO 4. | |
| - Secuencia de Control | 46 |
| - Lazos de Control | 53 |
| - Control de Temperatura en Reactor R-1 | 54 |
| - Control de Temperatura en R-1 (Calentamiento) | 56 |
| - Control de Flujo de Grignard | 57 |
| - Técnicas de Monitoreo y Ajuste de PID's. | 59 |



CAPITULO 5.

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| -Lenguaje de Programación Utilizado | 61 |
| -Teoría de Estados Finitos | 63 |
| -Software de Programación y Lenguaje de Control en Inglés | 65 |
| -Programa de Aplicación | 65 |
| | |
| -Conclusiones | 73 |
| -Bibliografía | 75 |
| | |
| Tabla de Contenidos | 77 |



INTRODUCCION

En el siguiente trabajo se aplicará una técnica de control con Controladores Lógicos Programables (PLC's) marca G.E. Fanuc a un sistema de control de temperatura en un reactor donde se produce un esteroide cortical llamado Cortisona.

Se eligió en particular un reactor, ya que son los equipos que requieren de una gran precisión y sensibilidad en el manejo de las variables del sistema. Generalmente, este tipo de procesos son controlados y monitoreados por Sistemas de Control Distribuido (DCS), pero en los últimos años los PLC's han empezado a introducirse en esta área; de aquí el creciente interés para considerarlos como una alternativa factible, debido a sus ventajas comparativas para emplearse en una amplia gama de aplicaciones además de la mencionada.

El objetivo principal de este trabajo es dar un panorama general de las características de los PLC's y mostrar como se implementan en aplicaciones industriales, además de elaborar un programa en un lenguaje de alto nivel para la operación y monitoreo del reactor en donde se lleva a cabo una reacción entre un reactivo de Grignard y la 11,14 Diketona.

Debido a la gran cantidad de conocimientos teóricos manejados se expondrán sólo las bases generales en conceptos que son necesarios para la comprensión global del trabajo



tales como definiciones y se hará más énfasis en el desarrollo del objetivo principal, esto es con la finalidad de obtener un trabajo más práctico, manejable y entendible.

Por otro lado, en este trabajo se hace uso de todas las herramientas necesarias que actualmente existen para la implementación de sistemas de control automático, tales como el software y hardware de G.E.Fanuc, los cuales disponen de rutinas para la resolución de las ecuaciones de control y, simplemente, el usuario asigna los parámetros, variables, etc. en cada uno de los casos requeridos. Esta es otra de las características prácticas y poderosas con la que cuentan los sistemas de control, debido a que debe ser desarrollado para que la gente que le proporcione mantenimiento al equipo pueda comprenderlo fácilmente.



IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACION DE PROCESOS.

El desarrollo del control y automatización de procesos industriales ha tenido un gran auge en las últimas décadas de este siglo , comenzando con los controladores mecánicos hasta la nueva tendencia que es el control digital.

Este desarrollo se ha visto favorecido debido al continuo crecimiento de los procesos industriales, los costos de las materias primas, los costos de los trabajos involucrados en el arranque, operación y mantenimiento de una planta. Para satisfacer estas necesidades se han desarrollado sistemas de control industrial que incluyen: control individual, monitoreo y adquisición de datos. Esto ha sido posible gracias al desarrollo de la tecnología digital, los microprocesadores, las memorias semiconductoras y los monitores de tubos de rayos catódicos.

La correcta selección y especificación del equipo de control se basa en las necesidades del proceso en cuestión, proporcionando un sin número de ventajas, las cuales se enlistan a continuación:

- 1.- Incrementa la productividad.
- 2.- Reduce costos de producción.
- 3.- Productos con aceptable nivel de calidad.
- 4.- Reduce el tiempo para poner nuevos productos en el mercado.
- 5.- Buen manejo de materias primas.
- 6.- Ahorra tiempo de inventario.
- 7.- Ahorro de energía.

Las ventajas aumentan conforme se incrementa el nivel de automatización. Sin embargo, esta debe ser implementada cuidadosamente teniendo un amplio conocimiento del proceso para aprovechar al máximo la capacidad del equipo seleccionado y evitar retrabajos posteriores.



CONCEPTOS GENERALES DEL EJEMPLO DE APLICACION.

1.- Conceptos generales .

El ejemplo de aplicación se basa en una reacción intermedia de una ruta sintética para la obtención de un esteroide cortical llamado **Cortisona**.

La cortisona pertenece al grupo de los esteroides glucocorticoides, los cuales tienen una gran influencia sobre el metabolismo orgánico, incluyendo efectos inflamatorios, permeabilidad vascular e integridad de los músculos, entre otras.

Los efectos metabólicos generales de los glucocorticoides (cortisona) son los siguientes:

- **Metabolismo de proteínas:** Ayudan a las síntesis de proteínas de los órganos viscerales para que lleven a cabo su función .
- **Metabolismo de carbohidratos:** Estimulan la síntesis del glucógeno para mantener la producción hepática de glucosa.
- **Metabolismo de ácido nucleico:** Estimula la síntesis del ácido ribonucleico (RNA) y ácido desoxiribonucleico (DNA) en los órganos viscerales. Esto se lleva a cabo en la transcripción del DNA y la formación de especies específicas de RNA mensajero, los cuales regulan la síntesis de algunas proteínas o enzimas.

También, el exceso o disminución de este tipo de esteroides causan efectos sobre los siguientes sistemas corporales:

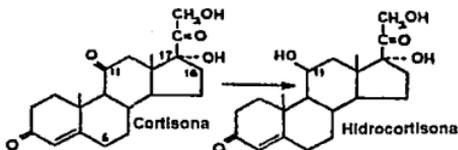


- Sistema cardiovascular.
- Sistema respiratorio.
- Sistema gastrointestinal.
- Sistema genitourinario.

2.- Importancia de la cortisona.

La cortisona es conocida como el compuesto E dentro del grupo de los glucocorticoides. Además, de usarse para la producción de otros esteroides, es posible sintetizarla para obtener Aldosterona .

Otro de los más importantes esteroides glucocorticoides es el Cortisol, el cual se obtiene medio de la reducción de la cortisona. A continuación se muestra una ruta simplificada para la obtención del cortisol (hidroxicortisona).



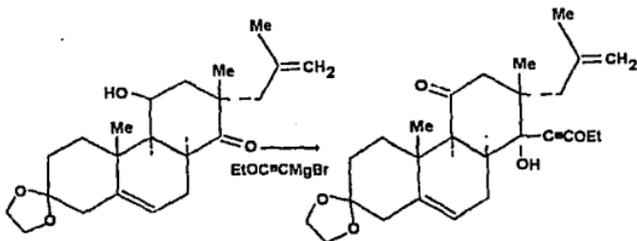
La cortisona puede ser obtenida por cuatro métodos, los cuales se mencionan a continuación:

- Método de Sarett.

- Método de Velluz.
- Método de Woodward.
- Método de Monsanto.

El ejemplo de aplicación es una reacción intermedia que pertenece a la síntesis de Sarett. Una gran ventaja de este método sobre los otros, es el alto grado de estereoespecificidad mantenido en cada paso. En muchos casos este tipo de síntesis no es viable a nivel industrial debido a los bajos rendimientos obtenidos en el producto final y la gran cantidad de equipo para llevarla a cabo. El mejor camino para lograr esto, es iniciar la síntesis con un esteroide natural que se encuentre en abundancia en la naturaleza, tales como diosgenina o sapogenina; de esta forma se reducen los pasos de la síntesis y se ve favorecido el rendimiento final.(3)

En este trabajo, se seleccionó una reacción de Grignard, llevada a cabo entre el bromuro de etoxi-etinil magnesio y un derivado de la 11,14 dicetona. La reacción es mostrada a continuación:



Un factor importante por el que se eligió esta reacción, es que se requiere un alto grado de control sobre casi todas las variables más importantes del proceso, tales como temperatura, presión, nivel, flujo, composición, etc.; para que pueda llevarse a cabo satisfactoriamente.

Se cuenta con una descripción de la secuencia de control y condiciones de reacción, ya que este proceso es desarrollado a nivel industrial. De esta forma, y aplicando los datos anteriores, se cubrirá el objetivo principal de este trabajo; es decir, se empleará una estrategia de control feedback (retroalimentación) utilizando Controladores Lógicos Programables (PLC's) del fabricante original G.E. Fanuc, y en particular el modelo de la serie 90-70.



DESCRIPCION DEL EJEMPLO DE APLICACION

2.1 Conceptos Generales de la Teoría de Control .

El tipo de control utilizado en este ejemplo se basa en una retroalimentación de las variables del proceso al dispositivo llamado Controlador Lógico Programable (PLC), el cuál envía una salida a la variable de control para poder ajustar la variable correspondiente al valor deseado. A continuación se definen algunos conceptos generales para poder conocer más este tipo de sistemas:

1.- Dinámica de Procesos: La dependencia y el cambio de las variables de proceso con respecto al tiempo.

2.- Variables de Entrada: Son todas las señales recibidas por el PLC y que provienen del proceso. Estas señales pueden ser de dos tipos:

a).- **Discretas o digitales:** Son aquellas que sólo pueden tomar dos valores '0' ó '1', apagado o encendido, falso o verdadero ; las cuales son utilizadas en lógica booleana y almacenan su valor en un bit. Entre ellas podemos encontrar contactos secos, 'limit switch', botón de arranque , de paro , fotoceldas, detectores de metal, interruptor de nivel, de presión, de temperatura, etc..



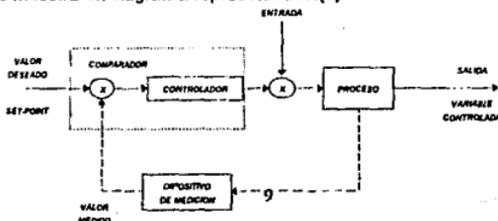
b).- Analógicas: Se caracterizan por almacenar enteros en un campo de 16 bit , de tal forma que su valor puede cambiar de -32768 hasta 32767. En el caso de necesitar almacenar un valor mayor se usaría un campo de 32 bits. Como ejemplos de dispositivos de campo que pueden ser conectados a este tipo de señales encontramos a los transmisores de flujo, presión, temperatura, nivel, etc. Este tipo de variables se utilizan para controlar el proceso y se conocen como manipulativas. Hay otro tipo de variables como la composición de una mezcla, en las cuales se deben utilizar métodos indirectos de medición para efectuar el control; este tipo de variables se conocen como no-manipulativas.

3.- Variables de Salida: Son aquellas que van del PLC hacia el proceso y también existen dos tipos:

a).- Discretas o digitales: Usan el mismo tipo de formato que las entradas discretas, la única diferencia es que en este caso los dispositivos de campo que se deben conectar deben ser válvulas de mariposa (abierta/cerrada), bobinas, arrancadores de motores, luces piloto, contactores, etc..

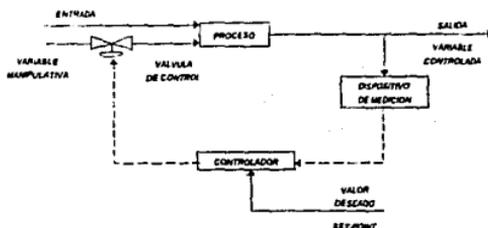
b).- Analógicas: Tienen la misma definición que las entradas analógicas, la diferencia son los dispositivos que deben ser conectados a ellas; en este caso : válvulas de posición, válvulas de control, variadores de velocidad, variadores de posición, etc..

4.- Lazo de Control (Loop) : Esta constituido de 5 partes: a) el proceso, b) el elemento de medición, c) el comparador, d) el controlador y e)el accionador o elemento final de control. A continuación se muestra un diagrama representativo:(7)



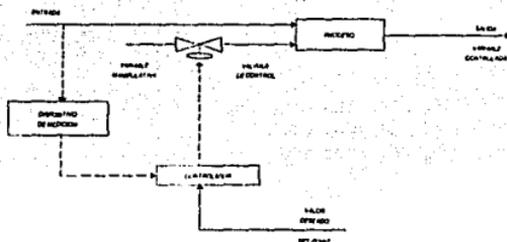


5.- **Control por Retroalimentación (Feedback):** Es la secuencia para controlar un proceso basándose en la medición de la variable que debe ser controlada, comparar este valor con el valor deseado (set point) e introducir la diferencia (el error) dentro de un controlador, el cual cambiará la variable manipulativa de salida hasta que el valor de la variable a controlar sea igual al valor deseado. Esto se lleva a cabo mediante un lazo de control. (4)



6.- **Control por Pre-alimentación (Feedforward):** Este tipo de control se lleva a cabo detectando un cambio en las variables de entrada al proceso para llevar a cabo una modificación apropiada en la variable manipulativa, lo cual permitirá corregir las variables de entrada hasta que sean iguales al valor deseado.

Este tipo de control es mucho mejor que el de retroalimentación, ya que considera cualquier cambio en las condiciones de entrada para llevar a cabo acciones correctivas, pero requiere de un amplio conocimiento acerca de la variación del sistema con respecto a todas las variables de entrada; ya sea con tendencias, datos experimentales o modelos matemáticos de gran aproximación.



7.- Estabilidad del Proceso: Se tiene un proceso estable, cuando el valor de la variable manipulativa (elemento final de control) se encuentra en un rango de oscilación muy pequeño y la variable medida es igual al valor deseado.

8.- Controlador Lógico Programable (PLC): La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) define a un PLC como "Un aparato electrónico digital con memoria programable para almacenar e implementar funciones e instrucciones específicas, tales como lógica, secuenciación, conteo, etc; para controlar máquinas y procesos" (6).

En sus inicios este dispositivo fue introducido para sustituir interruptores de paso, temporizadores (sincronizadores), contadores y otros instrumentos similares. Posteriormente, el desarrollo de estos equipos permitió reemplazar lógica de estado sólido, controladores analógicos e incluso minicomputadoras.

Debido al gran avance tecnológico que han tenido los PLC's y los dispositivos periféricos que pueden ser conectados a ellos tales como computadoras, instrumentos inteligentes, interfaces de operador, sistema de adquisición de datos, etc. ; se ha logrado no solo comunicar a los PLC's con equipo de Control Distribuido (Sistema de control utilizado,



generalmente en procesos continuos y el cual incluye monitoreo, adquisición de datos, y control estadístico de procesos, entre otras cosas) , sino reemplazar a éstos en algunas aplicaciones.

El campo de uso de los PLC's se encuentra en la parte de los procesos por lotes (batch), aunque la exigencia de algunos procesos continuos ha impulsado a desarrollar dispositivos de seguridad que le permite avanzar cada vez más .

La definición anterior de un PLC corresponde a la década de los 60's, pero ahora se puede agregar la capacidad de poder controlar procesos con una velocidad aceptable. El modelo 90-70 de G.E. Fanuc es capaz de ejecutar 256 lazos de control en 35 milisegundos cada uno. Además de poder utilizar programación en diferentes tipos de lenguajes de alto nivel, entre los más importantes se encuentran : lenguaje C, lógica de escalera, megabasic, estado sólido , etc.

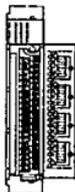
Un PLC está compuesto básicamente de 2 secciones:

a).- **Unidad Central de Procesamiento (CPU):** "Es el dispositivo controlador central que interpreta las instrucciones del usuario y ejecuta las funciones en base a un programa de aplicación almacenado" (5). La CPU consta de 3 partes: el procesador, la memoria y la fuente de poder; juntos estos componentes proporcionan la inteligencia del controlador. La CPU recibe datos de entrada de diversos dispositivos mediante las interfaces, ejecuta el programa almacenado en la memoria y envía las respectivas salidas para controlar válvulas, motores, arrancadores, etc.



CPU

b).- Sistema de Entradas/Salidas (I/O): Es la interface entre los dispositivos de campo y la CPU; su función principal es recibir y enviar señales. Este sistema tiene un transductor analógico/digital, ya que la CPU recibe las señales digitalizadas.

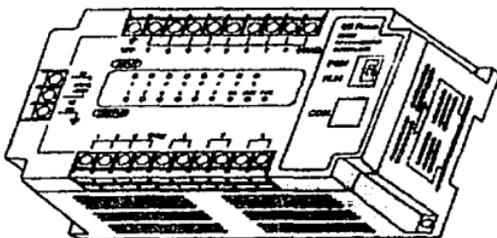


Módulo de entradas/salidas.

Los PLC's están clasificados de acuerdo a su capacidad de entradas/salidas y memoria, aunque estos dos términos son proporcionales. A continuación se muestra esta clasificación:



a).- **MicroPLC's:** Generalmente se utilizan para control de encendido/apagado de pequeñas máquinas. Tienen una capacidad máxima de 28 I/O discretas, las cuales están integradas en el mismo módulo donde se encuentra la CPU. No manejan sistema de I/O analógicas. A continuación se muestra un dibujo de este PLC:



MicroPLC

b).- **Pequeños PLC's:** Estos PLC's pueden tener hasta 128 I/O discretas, dependiendo del fabricante original manejan interfaces de I/O analógicas y en algunos casos conexiones de comunicación a otros PLC's de mayor capacidad. El arreglo de estos PLC's es modular; es decir, todas las tarjetas de I/O se pueden arreglar en el orden requerido por la aplicación dentro del rack. El rack es una base electrónica en donde se coloca la CPU y las tarjetas de I/O. A continuación se muestra un dibujo :



Pequeños PLC's



c).- Medianos PLC's: Su capacidad máxima es 1024 I/O discretas, 200 I/O analógicas. Son capaces de transferir información con otros PLC's y usar interfaces de operador para conocer el estado en que se encuentra el proceso advirtiendo el momento en que ocurren fallas mediante un sistema de alarmas. El arreglo de estos PLC's en el rack principal también es modular y por su número de I/O se requiere de racks de expansión.

El rack principal es aquel en donde se encuentra colocada la CPU y sólo algunos módulos de I/O ; generalmente, el rack consta de 10 espacios para colocar las tarjetas, los cuales se les conoce como 'slot' (ranura).

El rack de expansión es aquel en donde se encuentran las tarjetas de I/O y algunas veces alguna tarjeta de comunicación; siendo controlado por el rack principal . El número máximo de racks de expansión es 4 y a todas las I/O se les conoce como sistema I/O locales. A continuación se muestra un diagrama de este tipo de PLC's :



Medianos PLC's

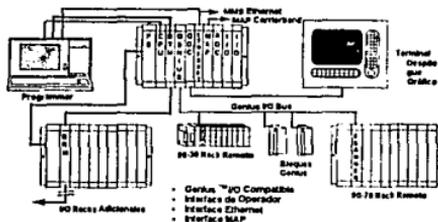


d).- **Grandes PLC's:** Su capacidad máxima de I/O discretas se extiende hasta 24000, para I/O analógicas hasta 8000. Pueden manejar I/O locales y distribuidas. La diferencia entre I/O locales y distribuidas es la distancia a la que se pueden encontrar desde el rack del CPU. Para I/O locales la distancia máxima son 15m desde el rack principal hasta el último rack de expansión. En este tipo de PLCs se pueden tener hasta 7 racks de expansión. Las I/O distribuidas pueden estar localizadas hasta 2500 m del rack principal.

Este tipo de PLC's pueden ser conectados a sistemas de adquisición de datos para poder almacenar datos históricos, llevar a cabo control estadístico de procesos, visualizar tendencias de las variables del proceso, utilizar funciones para carga de datos al PLC y así modificar secuencias completas de programación, etc.

La combinación del PLC y el sistema de adquisición de datos (que en el caso de G.E. Fanuc se llama **Cimplicity System**) permiten reemplazar a sistemas de control distribuido.

A continuación se muestra un arreglo general para este tipo de PLC's y todos los posibles equipos periféricos que pueden ser conectados a ellos. Todos los dibujos anteriores en donde se muestran los PLCs corresponden a la marca G.E. Fanuc.



Arreglo general PLC 90-70 G.E. Fanuc.

DESCRIPCION DEL HARDWARE DEL PLC 90-70 G.E. FANUC.

El modelo 90-70 es un PLC modular, en el cual puede colocarse cualquier arreglo en el rack; sólo se debe respetar que en el slot 0 sea colocada la fuente de poder, en caso de tratarse del rack principal en el slot 1 debe estar la CPU y en los demás slots puede haber cualquier combinación de tarjetas o módulos.

Algunas de las características más importantes de este PLC son enlistadas a continuación:(8)

- a) Capacidad de I/O: 24 k discretas, 8 k analógicas; cualquier combinación.
- b) Gran variedad de tarjetas I/O discreta y analógica.
- c) Comunicación y control con módulos genius de I/O distribuidas.
- d) Capacidad de memoria de usuario: 512 k de 'palabras'; equivalente a 8192 kbytes.



e) Tipo de memoria RAM.

f) Tiempo de ejecución booleana: 0.4 ms/k 'palabras'.

g) Características del CPU:

- Puerto de programación serial.
- Calendario/reloj.
- Forzamiento de I/O.
- Programación en lenguaje C (opcional), por bloques y estructurada.
- Configuración por software.
- Funciones de control PID (Proporcional Integral Derivativo)

h) Características de los procesadores:

- Intel 80386, Velocidad 16 MHz.
- Ejecución booleana.
- Manejo de lógica de 'punto flotante' (Números reales).
- Programable en Megabasic y lenguaje de estado sólido.

i) Tipo de diagnósticos:

- Tabla de fallas del CPU.
- Tabla de fallas de I/O.

j) Tipo de comunicaciones:

- Maestro-esclavo, mediante puertos serial RS-232 y RS-485.
- Red genius.
- MAP 3.0
- MMS Ethernet.

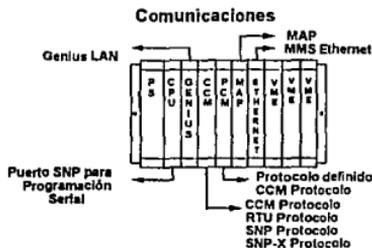
- Protocolo RTU/Modbus.
- Protocolo SNP.
- I/O Link para Computadoras de Control Numérico. (CNC).

k) Tipo de terminales de programación:

- IBM Compatible.
- MAP 3.0/Ethernet.

l) Tipo de interfaces de operador .

- Cimplicity 90 ADS (Despliegue de mensajes).
- Cimplicity 70 GDS (Despliegue de mensajes y gráficos)



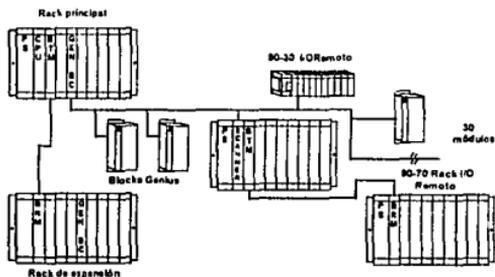
A continuación se da una breve descripción de la mayoría de los módulos disponibles y equipo periférico para este PLC .

PLC:

1.- **Rack:** Base electrónica que sirve para comunicar todos los módulos residentes con el CPU. Hay tres tipos de rack's:



- Rack principal: Es aquel en donde se encuentra la CPU.
- Rack de expansión: Es controlado por el rack principal y debe tener en el slot 1 una tarjeta de recepción / envío de datos. Como máximo se pueden tener 7 rack's de expansión y la distancia permitida son 15 mts entre el rack principal y el último rack de expansión.
- Rack remoto: Es posible disponer de este tipo de rack mediante la red genius. Para esto, es necesario tener en el rack principal una tarjeta llamada 'Genius Bus Controller (GBC)' y en el slot 1 del rack remoto una tarjeta llamada I/O Scanner. A su vez, este rack puede tener rack's de expansión. La distancia máxima entre el rack principal y el rack remoto es de 2500 mts.



2.- Fuente de Poder: Se inserta en el slot 0 de cualquier tipo de rack y su función principal es suministrar energía a todas las tarjetas .

3.- CPU: Su funcionamiento ya fue descrito anteriormente. Esta tarjeta contiene un microprocesador 80386, un procesador especial para ejecutar operaciones booleanas y proporciona un 'temporizador guardián' para detectar condiciones de error en el sistema, además de incluir una conexión serial de comunicación con el programador.



4.- Módulo Transmisor de Bus (BTM): Cuando se incluye en un sistema debe residir en el slot 2 del rack principal y su función es recibir y enviar información a los rack's de expansión mediante el Módulo Receptor de Bus (BRM). El BTM proporciona una conexión en paralelo con el programador.

5.- Módulo Receptor de Bus (BRM): Debe ser colocado en el slot 1 de cada rack de expansión con la finalidad de transferir información de todos los módulos existentes en dicho rack hasta la CPU por medio del BTM.

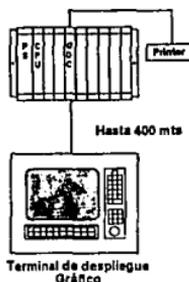
6.- Controlador del Bus de I/O Genius (GBC): Es la interface entre el PLC 90-70 y un sistema de comunicaciones de I/O distribuidas genius. Cada GBC soporta 30 bloques de I/O genius y tarjetas I/O scanner remotas. La distancia máxima entre el GBC (localizado en rack principal o de expansión) hasta el último bloque genius es de 2500 mts. Un genius es un módulo distribuido inteligente en donde se conectan los dispositivos de campo (discretos y analógicos) y es capaz de reportar un sin número de fallas tales como: corto circuito, cable desconectado, alarmas en señales analógicas, alta temperatura, etc.

La tarjeta I/O Scanner es la interface de comunicación entre el rack principal y los rack's remotos.





7.- Coprocesador de Despliegue Gráfico (GDC): Es el módulo que se requiere para comunicar una interface de operador Cimplicity 70 con la CPU. La GDC puede ser colocada tanto en el rack principal como en el rack de expansión. En la interface de operador se puede visualizar el diagrama de flujo para monitorear y operar el proceso , pero no puede almacenar datos históricos del sistema. La distancia permitida entre la GDC y la interface de operador es de 1200 mts.



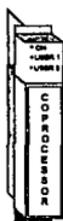
8.- Coprocesador de Comunicaciones (CMM): Este módulo proporciona diferentes opciones de comunicación con otros dispositivos tales como control distribuido, computadoras industriales, instrumentos que tengan interfaces seriales RS-232 ó RS-485, comunicación con otros PLC's , etc. Las opciones de comunicación que proporciona esta tarjeta son las siguientes:

- Protocolo SNP: exclusivo para comunicación de PLC's G.E. Fanuc.
- Protocolo RTU/Modbus: Requerido para comunicación con sistemas de Control Distribuido.



- Protocolo CCM: Necesario para comunicación con otros PLC's e instrumentos que proporcionen conexiones seriales.

La diferencia entre la interface serial RS-323 y RS-485, es la distancia del cable de comunicación; para RS-485 son 1400 mts y para RS-232 son 15 mts.



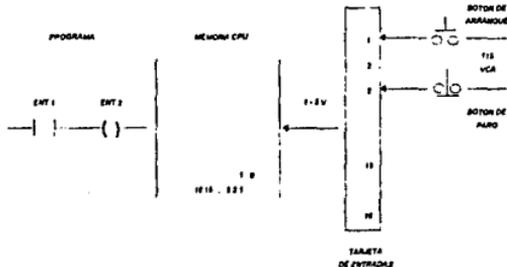
9.- Módulo de Entradas Discretas: Este módulo, al recibir voltaje proveniente de algún dispositivo de campo, convierte el voltaje externo (hay módulos de 24 VCD, 115 VCA, 250 VCA, etc.) en una señal interna de 5 volts.

Como ya se mencionó anteriormente, cada una de las entradas sólo toma dos valores (apagado/encendido). Se dice que la entrada se encuentra 'apagada' si no recibe voltaje del dispositivo externo al cuál esta conectada e internamente envía una señal de 1 volt a la memoria de la CPU. Cuando la entrada se encuentra encendida, es debido a que esta recibiendo un voltaje externo e internamente envía un valor de 5 volts a la CPU.

La CPU sabe en que parte de la memoria debe almacenar el estado de cada una de las entradas, colocando un valor de '0' cuando recibe 1 volt y el valor de '1' cuando recibe 5



volts. Posteriormente toma estos valores para la ejecución del programa de aplicación. A continuación se muestra un ejemplo para una tarjeta de entradas de 115 VCA:



Si consideramos que en la entrada 1 tenemos conectado un botón de arranque, el cual corresponde a un contacto normalmente abierto y en la entrada 3 se tiene un botón de paro, que corresponde a un contacto normalmente cerrado; entonces, dentro de la memoria de la CPU se tendrán almacenados los valores de '0' y '1', en la entrada 1 y 3 respectivamente.

Al accionar ambos botones su valor, se permitirá el paso de voltaje en la entrada 1 y se interrumpirá para la entrada 3, de tal forma que los valores en la memoria de la CPU cambiarán a '1' y '0'. Estos valores son usados en el programa de aplicación para ejecutar la lógica booleana.

10.- Módulo de Entradas Analógicas: Estos módulos reciben señales de instrumentos de campo en voltaje o miliamperaje en cualquiera de los siguientes rangos: 4-20 mA, 1-5 volts, -10 a +10 volts, 0-5 volts, etc. Cualquier rango anterior es convertido a señal digital y transmitido en pulsos hasta la CPU mediante un transductor analógico/digital, el cuál utiliza la siguiente relación pulsos-voltaje-amperaje:

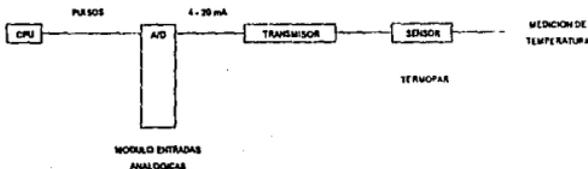


| Pulsos | Corriente (mA) | Voltaje (V) |
|--------|----------------|-------------|
| - 4095 | ----- | - 10 |
| 819 | 4 | ----- |
| + 4095 | 20 | +10 |

Este valor de 'pulsos' debe ser transformado a las unidades correspondientes del instrumento que esta enviando la señal eléctrica (presión, temperatura, nivel, etc.). A continuación se muestra el módulo analógico para entradas:



En el ejemplo siguiente, se muestra la conversión de la variable medida (en este caso temperatura) , ya que se aplicará para un termopar, hasta el valor que recibe la CPU: El rango de temperatura es de 0 a 200 centígrados y el termopar envia una señal de 4 a 20 mA a la tarjeta de entradas analógicas. A continuación se muestra un diagrama :

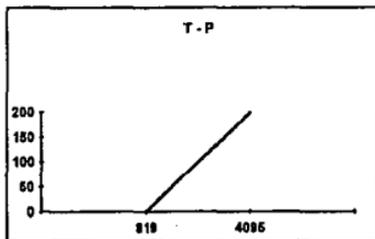




Del diagrama anterior se obtiene la siguiente relación:

| Temperatura | m Amperes | Pulsos |
|-------------|-----------|--------|
| 0 °C | 4 | 819 |
| 200 °C | 20 | 4095 |

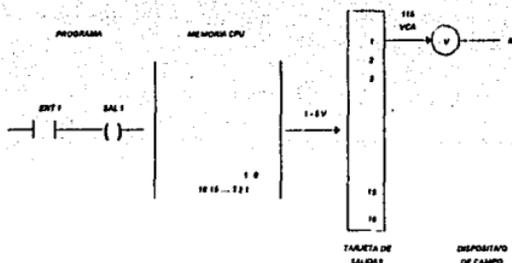
Ahora lo que necesitamos, es conocer la relación de la temperatura con respecto a los pulsos recibidos; ya que es el valor que se utilizará dentro del programa y en el monitoreo de la señal. En la siguiente gráfica muestra dicha relación:



De aquí se obtiene la siguiente ecuación, para calcular todas las temperaturas dentro del rango de 0 a 200 °C:

$$T = 0.061(\text{Pulsos}) - A$$

11.- **Módulo de Salidas Discretas:** La secuencia en que recibe información cada salida desde el programa de aplicación, es la siguiente:



Cuando la salida 1 esta encendida desde el programa de aplicación, en la memoria de la CPU se almacena el valor de '1', con este valor se envía una señal de 5 VCD a la salida 1 del módulo, la cual permite el paso de 115 VCA hacia el dispositivo de campo.

En el caso de que la salida 1 este apagada en el programa, el valor correspondiente para esta salida en la memoria es '0', siempre que se tenga este valor en la memoria se enviará '1' VCD hacia el módulo, el cual no es suficiente para cerrar el interruptor electrónico y así permitir el paso de 115 VCA hasta el dispositivo de campo.

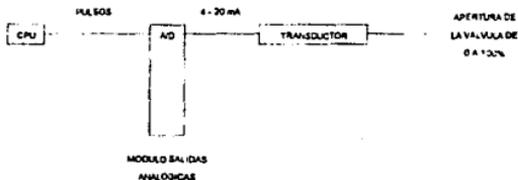
12.- Módulo de Salidas Analógicas: Este tipo de módulos envían señales en voltaje y corriente en los siguientes rangos: 4-20 mA, -10 a 10 V, 0-5 V, 1-5 V, etc. Este módulo se muestra en la siguiente figura:





En cada una de las salidas, la tarjeta tiene un convertidor digital/análogo, el cual transforma pulsos en corriente o voltaje, según sea el rango del instrumento conectado.

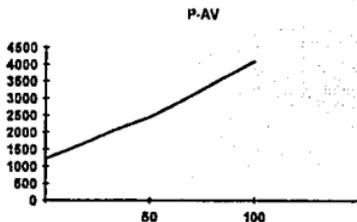
Para llevar a cabo esta conversión, se utiliza la misma tabla que para el caso de las entradas analógicas. A continuación se explica con un ejemplo la operación de una válvula de control que funciona con una señal de 4-20 mA:



De igual forma, se necesita convertir el porcentaje de apertura de la válvula en pulsos que serán enviados de la CPU hasta el módulo de salidas analógicas. A continuación se muestra una tabla con estos valores:

| Apertura de válvula | m Amperes | Pulsos |
|---------------------|-----------|--------|
| 0 % | 4 | 819 |
| 100 % | 20 | 4095 |

En este caso se necesita conocer la relación de los pulsos a enviar con respecto a la apertura de la válvula. A continuación se muestra una gráfica de los Pulsos con respecto a la Apertura de la válvula:



De la gráfica anterior se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Pulsos} = 819 + 32.76 (\text{AV})$$

BUS DE COMUNICACIONES I/O DISTRIBUIDAS GENIUS. (12)

Este sistema consta de los siguientes elementos:

1.- Bloques de I/O Genius: Son módulos de I/O distribuidas configurables, inteligentes y contienen su propia fuente de poder. Este bloque se compone de dos partes:

- Terminal de ensamble: En la cual son conectados los cables que provienen de los dispositivos de campo.
- Circuito Electrónico: Contiene los microprocesadores del block, se encarga de la comunicación con el bus y del almacenamiento de datos para transferirlos al GBC.

Estos bloques pueden ser instalados hasta una distancia máxima de 2500 mts del PLC cerca del equipo o maquinaria. Existen diferentes tipos de bloques de IO genius para entradas/salidas discretas, analógicas y algunos módulos 'especiales' tales como:



- Bloque para termopar.
- Bloque para RTD (Detectores de Temperatura Resistivos).
- Bloque para HSC (Contados de Alta Velocidad).
- Bloque PowerTrack (para medición y control de energía eléctrica).

2.- Bus de Comunicación: Puede contener como máximo 32 dispositivos (incluyéndose él mismo) transfiriendo datos entre ellos mediante comunicación serial. Los datos transferidos pueden ser de I/O, mensajes y condiciones de diagnóstico, llevándose a cabo de forma automática. Algunas características del Bus se enlistan a continuación:

- Tipo de Cable: Twisted pair, fibra óptica y modems.
- Resistencia para terminación de Bus: Se debe colocar una resistencia en el bloque de inicio y en el bloque final del Bus. El valor de la resistencia depende del tipo de cable, pero los valores más comunes son los siguientes: 75, 100, 120 y 150 ohms.
- Velocidad de transferencia de datos: Este valor se puede configurar a diferentes 'Baud rate' (Velocidad de dosificación de datos); un baud es el número de bits transferidos por segundo.

3.- El Controlador de Bus I/O Genius (GBC): Puede residir en un PLC o en una computadora; su función es controlar la transferencia de datos entre la CPU y el bus de comunicaciones.

4.- El Monitor-Configurador Manual para Genius (HHM): Se puede usar como un dispositivo portátil o permanentemente montado y proporciona una interface de operador para configuración, monitoreo y diagnóstico de bloques genius.

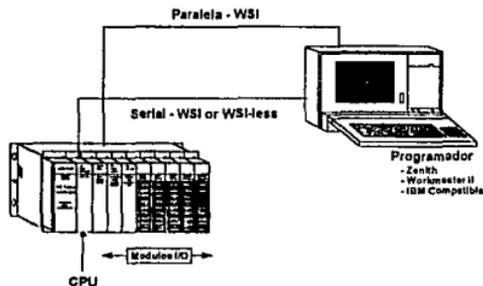


5.- Terminal de Programación: Este dispositivo puede ser una computadora IBM compatible con 640 kb de memoria RAM y por lo menos 3Mb de espacio libre en disco duro, para instalar el software de programación y configuración Logicmaster 90. Este software, además de tener todas las funciones requeridas para programación de PLC's, posee funciones de alto nivel, proporciona programación estructurada y configuración de todos los módulos del PLC. Hay dos formas de comunicar a los PLC's con la terminal de programación:

- **Serial:** Este tipo de comunicación se lleva a cabo con el CPU del PLC, el cual tiene una conexión serial RS-422. En la computadora, se utiliza la conexión serial RS-232; por lo tanto, es necesario un convertidor RS-422 / RS-232. La distancia máxima entre el PLC y la terminal de programación es de 15 mts.

- **Paralela:** Para usar esta comunicación es necesario un módulo BTM instalado en el PLC y en la computadora se requiere una interface WSI Card. La comunicación es mucho mejor que la serial, ya que se transmiten 8 bits en vez de uno por uno y la conexión es RS-485, que permite tener una distancia de 1400 mts entre el dispositivo de programación y el PLC.

A continuación se muestra una figura de una terminal de programación:





6.- Sistema de Adquisición de Datos CIMPPLICITY I/U: Es un software que monitorea y recopila datos para mejorar el proceso mediante representaciones gráficas. existen dos versiones de este software:

- Para sistema operativo MS-DOS: Se necesita una computadora IBM compatible con 16 Mb de memoria RAM y por lo menos 150 Mb en disco duro.
- Para sistema operativo UNIX: El hardware requerido debe ser un sistema DEC VAX, Workstation, DEC ULTRIX ó HP UX, que puede estar en forma independiente o conectado a una Red de comunicación. Proporciona diferentes interfaces con el usuario del tipo X- Windows, X-terminal y touch screen.

El software Cimplicity I/U esta estructurado en dos secciones:

a) Sistema base: Consta de varios 'módulos' que se utilizan para monitoreo de gráficas, manejar variables de proceso, visualización y reconocimiento de alarmas, envía reportes de producción o de alarmas que ocurran en el sistema a una impresora , proporciona configuración interactiva y una interface de operación.

b) Sistema opcional: Requiere el sistema base y está dividido en tres categorías :

- Módulos de Aplicación: Complementan el sistema base para llevar a cabo funciones de monitoreo y supervisión del proceso tales como tendencias históricas, reportes, bases de datos para almacenamiento en disco, control estadístico de proceso, etc.
- Drivers para comunicación: Módulos que proporcionan comunicación y/o colección de datos para dispositivos específicos, computadoras, otros PLC's, etc.



- **Interface de Arquitectura Abierta (API):** Se utiliza para crear protocolos en lenguaje C con el objetivo de comunicarse con otro tipo de sistemas , bases de datos, hojas electrónicas, etc.



INSTRUMENTACION PARA PLC's

Uno de los puntos más importantes para el uso de PLC's es la correcta selección y especificación de la instrumentación, ya que los valores provenientes de instrumentos y dispositivos de medición son de suma importancia para llevar a cabo un buen control del proceso.

Muchas veces las mediciones de las variables van acompañadas de errores esto es un hecho inevitable, ya que muchas veces son provocados por un mal funcionamiento del instrumento o debido a lecturas erróneas. Un error de medición se define como "la variación o desviación de una lectura con respecto al valor verdadero o esperado" (18). El error de medición puede ser clasificado en tres categorías:

- a) Errores provocados por personas.
- b) Errores del sistema: Son provocados por el instrumento de medición.
- c) Errores aleatorios: Son ocasionados por acciones inesperadas en el proceso.

Para poder corregir y prevenir un error de medición, se debe interpretar e identificar en que categoría se encuentra, ya que en algunas ocasiones es necesario predecirlos para no afectar momentáneamente el proceso y tomar acciones correctivas. A continuación se muestra una tabla comparativa de errores de medición y algunos ejemplos ilustrativos:



| | Error Humano | Error del Sistema | Error Aleatorio |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ejemplos | -Escala incorrecta - Falsas lecturas -Ajuste inadecuado -Instrum. incorrecto | -Descalibración . -Mala especificación de la técnica de medición. | -Cambios en el medio tales como P y T. -Variación en la composición de materias primas. |
| Predicción | | -Comparación lectura con valores precalculados. -Determinación de un error acumulativo. | -Aplicación de análisis estadístico de proceso mediante colección de datos. |
| Prevención | -Corrigiendo valores desplegados. -Toma de lecturas por diferentes personas. -Conocer la capacidad del instrumento. | -Monitoreando la consistencia de la técnica de medición empleada. -Constante mantenimiento a los instrumentos. | - Usando control estadístico de proceso. |

TIPOS DE INSTRUMENTACION. (19)

Existen dos tipos de instrumentación que son utilizados a nivel industrial y se mencionan a continuación:

a) Neumática: Son dispositivos que transforman datos de variables de proceso (T, P, etc.) en señales de salida en el rango de 3 a 15 psig, las cuales son suministradas a un controlador mecánico.



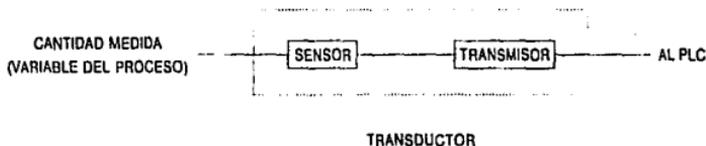
b) **Electrónica:** Estos dispositivos convierten señales de variables de proceso (P, T, etc.) en señales eléctricas (corriente o voltaje) en cualquiera de los siguientes rangos: 4-20 mA, 1-5 VCD, 0-5 VCD, +/- 10 VCD, las cuales son enviadas a un equipo de control (PLC).

La instrumentación neumática es más económica y segura (a prueba de explosión) que la instrumentación electrónica , cubre un amplio rango de aplicaciones y fue específicamente desarrollada para usarse con PLC's.

Un instrumento de medición de una variable de proceso (P, T, N, F, etc.) requiere de un transductor de señal para convertir el valor medido (por ejemplo temperatura) en una señal eléctrica (corriente o voltaje), es decir, es un dispositivo que transforma un tipo de energía en otra y consta de dos partes:

a) **El sensor:** Dispositivo que esta en contacto con el medio para detectar el valor de la variable de proceso y enviársela al transmisor.

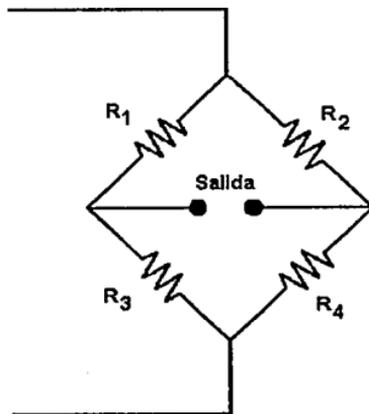
b) **El Transmisor:** Su función es convertir la señal de salida del sensor a una forma compatible con la entrada del PLC. A continuación se muestra un esquema de un transductor :





Los transductores requeridos por la instrumentación electrónica se basan principalmente en dos técnicas :

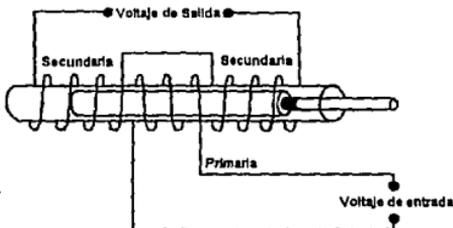
a) Circuitos de Puentes: Se usan cuando el parámetro que cambia en la medición es un elemento resistivo. La resistencia cambia en el circuito y proporciona como salida voltaje o corriente (dependiendo de la configuración del puente), los cuales son proporcionales a los cambios en el elemento resistivo de medición. A continuación se muestra un diagrama de la configuración de un circuito de puente simple:





b) Transformador diferencial de variable lineal (LVDT): Es un dispositivo electromecánico que proporciona un voltaje de referencia, el cual es proporcional al desplazamiento de un centro magnético dentro de una bobina.

La técnica LVDT es principalmente usada en la construcción de transductores, los cuales transforman la variable medida (por ejemplo P) en una relación lineal con el movimiento del centro de la bobina. A su vez, este movimiento es proporcional al voltaje de salida; por lo tanto, la relación entre la medición de la variable y el voltaje de salida es directamente proporcional. El siguiente dibujo corresponde a un diagrama de LVDT:



El funcionamiento de los transductores más comunes para medición de variables de proceso es explicado a continuación:

1.- Transductores Térmicos: Son usados para medir cambios en la temperatura y proporcionar señales de corriente o voltaje en forma proporcional, en base a cambios resistivos o fuerza electromotriz (fem) generada por la unión de dos metales a diferente temperatura. A continuación se describen estos dos importantes grupos:



a) Basados en el cambio de la resistencia interna del dispositivo de medición debido a variaciones en la temperatura registrada. En este grupo tenemos a los Detectores de Temperatura por Resistencia (RTD'S) y termistores.

b) Basados en una diferencia de voltaje propia del transductor debido a cambios en la temperatura medida, un ejemplo es el termopar.

- RTD's: Se constituye de un alambre conductivo que puede ser de platino, níquel, cobre y níquel-acero; el cual es enrollado en un aislante que sirve como soporte.

La resistencia del alambre conductivo aumenta linealmente conforme aumenta la temperatura medida en base a la siguiente ecuación:

$$R_T = R_0 \left[1 + \alpha_1(T - T_0) + \alpha_2(T - T_0)^2 \right]$$

Donde:

R_0 = Resistencia a T_0

α_1, α_2 = Ctes. del RTD.

R_T = Resistencia a T.

El diagrama de construcción de un RTD es el siguiente:

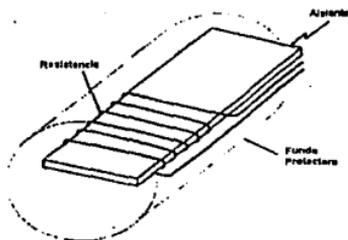


Fig. 3



- **Termistores:** Son transductores que sufren cambios en la resistencia interna en forma inversamente proporcional a la temperatura medida y en la mayoría de los casos no siguen una tendencia lineal. Los materiales de construcción de los termistores son semiconductores tales como: óxido de cobalto, níquel, magnesio, acero y titanio.

La resistencia del termistor como una función de la temperatura medida se expresa por la siguiente ecuación:

$$R_T = R_0 e^{\beta(1/T - 1/T_0)}$$

Donde:

R_T = Resistencia a T.

T_0 = Temperatura de referencia (Absoluta)

β = Cte del termistor.

T = Temperatura medida.

R_0 = Resistencia a T_0

- **Termopar:** Son dispositivos que están contruidos en base a la unión de dos metales . Conforme la temperatura medida se incrementa, la fuerza electromotriz (fem) entre los dos materiales se incrementa en forma proporcional. En la siguiente figura se muestra el diagrama de un termopar.

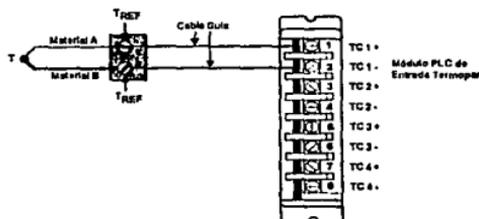


Fig. 4



2.- Transductores de Presión: Estos dispositivos transforman la fuerza por unidad de área (presión) en una señal eléctrica proporcional. Los transductores de presión más conocidos son:

a) **Manómetro de deformación:** Es un transductor que se usa para medir la deformación de un cuerpo rígido debido a una fuerza aplicada. Esta fuerza provoca un cambio en la resistencia del circuito de puente que proporciona señales eléctricas muy pequeñas; por lo que es necesario colocar un amplificador para obtener una señal de +/- 10 VCD que será enviada al PLC. A continuación se muestra un dibujo de este transductor:

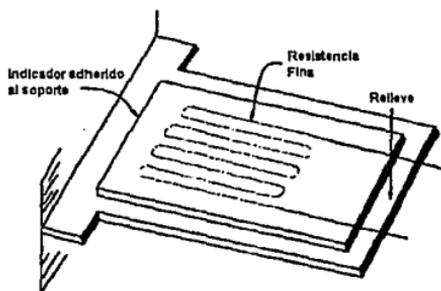
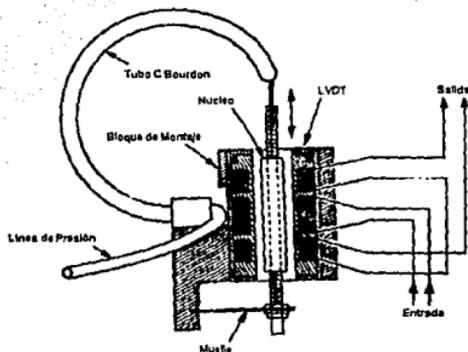


Fig. 5

b) **Tubo de Bourdon:** Es un dispositivo que convierte la presión medida en un desplazamiento proporcional por medio de la técnica LVDT. Hay diferentes tipos de tubo de bourdon, pero el más usado es el tubo C. Ver siguiente figura.



c) Celdas de carga: Están basados en el principio de los manómetros de deformación .

3.- Transductores de Flujo: Son usados para medir el flujo de materiales, ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso. A continuación se explica el principio de cada uno de estos transductores:

a) Transductores para flujo en estado sólido: La mayoría de los medidores de flujo de sólidos utilizan celdas de carga en combinación con una banda transportadora para medir el flujo de materiales, el cual se obtiene por la siguiente ecuación:

$$Q = WV / L$$

Donde :

Q = Flujo del material.

W = Peso detectado por la celda de carga.

V = Velocidad del transportador.



L = Longitud de la celda de carga.

b) Transductores para flujo de fluidos: hay dos formas de medir el flujo de un fluido, por medio de la medición de presión diferencial y por la detección de un fluido en movimiento. Los transductores más comunes para obtener mediciones de presión diferencial son el tubo Venturi y la placa de orificio. Y también se tiene el medidor tipo turbina. A continuación se describe cada uno de estos transductores, los cuales transforman el flujo medido en una señal eléctrica.

- Tubo Venturi y placa de orificio: Ambos se basan en el teorema de Bernoulli para el cálculo del flujo, el cual requiere de la medición de una diferencia de presión entre dos puntos. Los transductores más utilizados para esto son el manómetro de deformación y el tubo de Bourdon tipo C. La ecuación simplificada para el cálculo del flujo es la siguiente:

$$Q = K(\Delta P)^{1/2}$$

Donde:

Q = flujo .

K = Cte que involucra la densidad del fluido
el área de la sección transversal y las ctes. de
obstrucción de la tubería.

Ambos tipos de transductores son mostrados en las siguientes figuras:

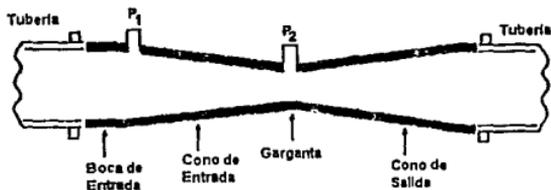
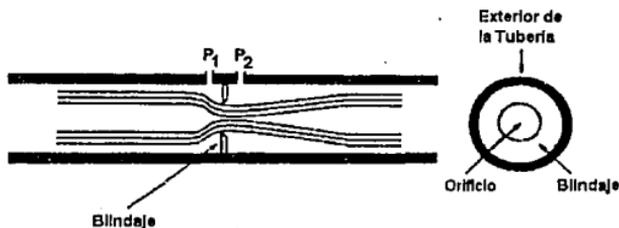


Fig. 7



- Medidor de flujo tipo turbina: Se utilizan en aplicaciones de medición de flujo para líquido y gas; especialmente, cuando se tienen flujos muy pequeños.

Este medidor se compone de un rotor multi-hélice, el cual es suspendido en el material. Conforme el fluido pasa a través del rotor, es creado un movimiento rotatorio que genera un flujo magnético. Este flujo magnético es recogido por una bobina, la cual produce un pequeño voltaje (10 a 20 mV) que debe ser amplificado para ser enviado al PLC. A continuación se tiene un diagrama de este transductor:

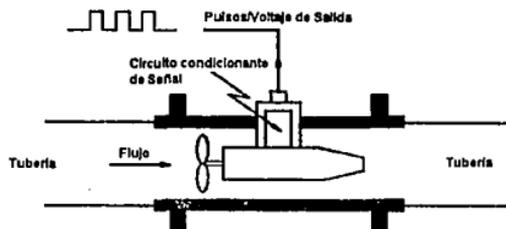


Fig. 9



4.- Transductores de Nivel de Líquidos: Entre los más comunes se encuentran las celdas de carga, los transductores de presión hidrostática y los transductores ultrasónicos.



SECUENCIA DE CONTROL

Teniendo como base el conocimiento del equipo a utilizar en el control del reactor "batch" seleccionado como ejemplo de aplicación, se describirá la secuencia del control.

Como ya se mencionó anteriormente, la reacción se lleva a cabo entre el bromuro de etoxi-etinil magnesio (reactivo de Grignard) y la 11, 14 dicetona, conocida comercialmente como DOE - C .

La secuencia de operación y control del sistema es la siguiente:

- 1.- Checar que el reactor R-1 no tenga agua.
- 2.- Introducir N_2 al R-1.
- 3.- Cargar THF y evitar la evaporación de éste con el condensador C-1.
- 4.- Arrancar el agitador en el momento de introducir el reactivo DOE - C y continuar con el C-1.
- 5.- Cargar lentamente la mitad del reactivo de Grignard requerido, manteniendo la temperatura del reactor a 25 °C. esto es debido a la reacción exotérmica. Entonces enfriar al R-1 y continuar con el C-1.
- 6.- Cargar el resto del reactivo de Grignard manteniendo la temperatura del reactor entre 25 y 50 °C con aceite a temperatura ambiente y seguir utilizando el condensador.



7.- Calentar la mezcla de reacción hasta alcanzar el reflujo (60 °C). La temperatura máxima del reactor se debe considerar entre 80 y 85 °C.

En esta etapa se debe controlar la temperatura en el C-1 a 60 °C.

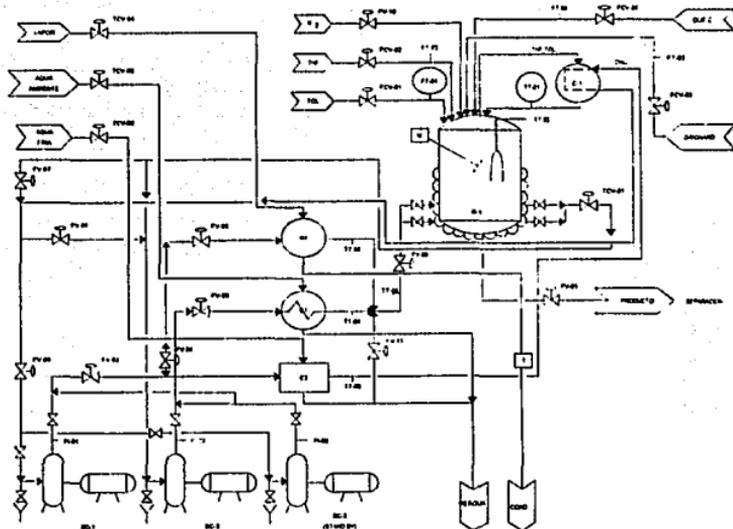
8.- Agitar la mezcla a una temperatura de 80 °C, hasta que se obtenga menos del 1% de los reactivos en el muestreo. (Tiempo de reacción 15 a 18 horas)

Para esto es necesario el calentamiento en el R-1 y seguir condensando en el C-1 con aceite frío.

9.- Cuando se detecte menos del 1% de los reactivos en la mezcla de reacción, enfriar ésta hasta 50 °C. Posteriormente se lleva a cabo la separación del producto en un tanque de precipitación. Esta etapa final no se considerará dentro del alcance de este trabajo.

Otra variable importante para controlar en este proceso, es el flujo de entrada de cada uno de los componentes de la mezcla de reacción.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de proceso con todos los dispositivos de control.



El arranque, paro y monitoreo del proceso se realizará con una interface de operador Cimplicity -70 que estará ubicada en el tablero de control; en donde se mostrará cada uno de los equipos y un sistema de despliegue de alarmas.

Los dispositivos de campo, como válvulas sensores, bombas, etc., se conectarán a una red genius. A continuación se muestra una lista de los dispositivos de campo y su respectiva dirección dentro de la memoria de la CPU:

| Dirección en CPU | TAG | Descripción |
|------------------|-------|-------------------------------|
| %Q001 | FV-01 | Válvula de salida de Producto |
| %Q002 | FV-02 | Válvula de entrada a E-2 |
| %Q003 | FV-03 | Válvula de entrada a E-1 |
| %Q004 | FV-04 | Válvula de bloqueo a E-2 |



| Dirección en CPU | TAG | Descripción |
|------------------|--------|----------------------------------------------------|
| %Q005 | FV-05 | Válvula de entrada a C-1 |
| %Q006 | FV-06 | Válvula de entrada DWJ a chaqueta de R-1 |
| %Q007 | FV-07 | Válvula de retorno de DWJ a sistema de bombeo |
| %Q008 | FV-08 | Válvula de retorno a DWJ a sistema stand by bombeo |
| %Q009 | FV-09 | Válvula de retorno de DWJ a BC-1 |
| %AQ001 | FCV-01 | Válvula de control de flujo de Tolueno |
| %AQ002 | FCV-02 | Válvula de control de flujo de THF |
| %AQ003 | FCV-03 | Válvula de control de flujo de GRIGNARD |
| %AQ004 | FCV-04 | Válvula de control de flujo de DOE-C |
| %AQ005 | TCV-01 | Válvula de control de temperatura de DWJ |
| %AQ006 | TCV-02 | Válvula de control de temperatura de Agua fría |
| %AQ007 | TCV-03 | Válvula de control de temperatura de Agua ambiente |
| %AQ008 | TCV-04 | Válvula de control de temperatura de vapor |
| %AI001 | TT-01 | Transm. Temperatura sal. condensador |
| %AI002 | TT-02 | Transm. Temperatura mezcla de reacción |
| %AI003 | TT-03 | Transm. Temperatura salida de E-2 |
| %AI004 | TT-04 | Transm. Temperatura salida de E-1 |
| %AI005 | TT-05 | Transm. Temperatura salida de C-1 |
| %AI006 | TT-06 | Transm. Temperatura mezcla DWJ |
| %AI007 | FT-01 | Transm. Flujo de tolueno |
| %AI008 | FT-02 | Transm. Flujo de THF |
| %AI009 | FT-03 | Transm. Flujo de GRIGNARD |
| %AI0010 | FT-04 | Transm. Flujo de DOE-C |
| %Q10 | FV-10 | Válvula de entrada de N2 a R-1 |



| Dirección en CPU | TAG | Descripción |
|------------------|-------|--------------------------------------|
| %Q11 | BC-1 | Bomba para condensador |
| %Q12 | BC-2 | Bomba para reactor |
| %Q13 | BC-3 | Bomba stand by |
| %Q14 | M1 | Agitador |
| %Q15 | FV-11 | Válvula de bloqueo a condensador C-1 |

Antes de mostrar los lazos de control para este sistema, se definirán algunos términos necesarios en el control feedback.

PID: Es el término para el algoritmo de control Proporcional-Integral-Diferencial. Este algoritmo es una ecuación matemática que sirve para mantener y alcanzar el valor deseado en un proceso en presencia de perturbaciones y cambios en el sistema.

PID fue desarrollado para que los controladores digitales pudieran ser utilizados en el control de variables analógicas tales como: temperatura, velocidad, pH, flujo, nivel, posición, corriente, presión, etc.

El PID para proporcionar el resultado deseado utiliza tres variables, las cuales se describen a continuación:

- a) SP: "Set point" es el valor deseado, y es típicamente expresado en unidades de ingeniería,
- b) PV: Es la variable retroalimentada del proceso con el SP y en base a esto se determina como el PID modificará el proceso hasta alcanzar el SP. La PV debe tener las mismas unidades que el SP.



c) CV: La variable de control es el valor enviado del PID hacia el proceso. Este valor representa la cantidad que debe ser adicionado o removido del proceso para alcanzar el valor deseado (SP).

La ecuación matemática que representa al algoritmo PID es la siguiente:

$$CV(t) = K_c \left[E(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t E(t) dt + T_d \frac{dE(t)}{dt} \right] + \text{BIAS}$$

en donde:

$$E(t) = SP(t) - PV(t)$$

CV(t)= Valor de salida del controlador hacia el proceso

SP(t)= Valor deseado en el proceso

PV(t)= Variable retroalimentada al proceso

E(t)= Error

BIAS= Valor por omisión para la variable de control (CV)

K_c= Ganancia proporcional del controlador

T_i= "Reset" integral del controlador

T_d=Tiempo derivativo del controlador

Una aproximación a la solución de la ecuación es la siguiente:

$$CV(t) = K_c \left[E(t) + \frac{1}{T_i} \sum_{k=1}^n E_k \Delta t_k - T_d \frac{\Delta PV_n}{\Delta t_n} \right] + \text{BIAS}$$



GANANCIA PROPORCIONAL: Cuando existen variaciones en la variable a controlar se envía una salida instantánea en base al error calculado, hacia el valor de la ganancia proporcional para rápidamente corregir el error en el proceso. Cuando el valor de la variable de proceso (PV) se encuentra cerca del valor deseado, la contribución proporcional es muy pequeña debido a que el error empieza a permanecer constante.

GANANCIA INTEGRAL: La ganancia integral monitorea el error y la duración con que éste ha permanecido en el proceso, ya que integra el producto del error por el tiempo para proporcionar una señal de salida.

La ganancia integral tiene la capacidad de corregir pequeños errores en el proceso, pero cuando el error se vuelve cero la ganancia integral permanece constante.

GANANCIA DIFERENCIAL: La ganancia diferencial monitorea cambios en el estado del proceso y es capaz de proporcionar 'anticipaciones' basadas en resultados esperados mientras se alcanza el estado estacionario.

Debido a que el término diferencial está monitoreando cambios en el proceso, algunas veces puede anticipar erróneamente sin que éstos sucedan.

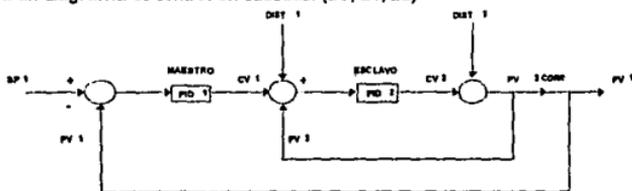
La ganancia diferencial se puede dejar en función del error o de la variable de proceso. Si se deja en función del error, compensará cambios hechos en el "set point" y en la variable del proceso. Si se deja en función de la variable de proceso, sólo anticipará errores de cambios en el proceso.

Aplicando y monitoreando adecuadamente el término proporcional se puede obtener un control muy preciso del proceso.



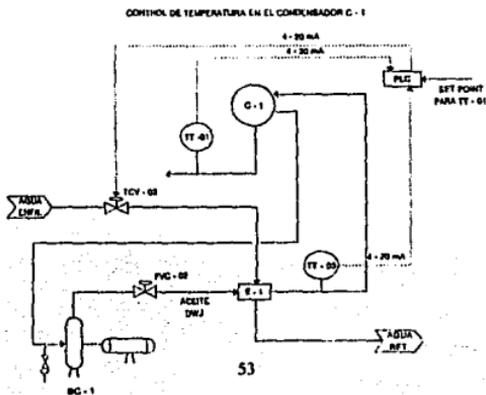
CONTROL EN CASCADA: Un lazo de control en cascada tiene dos controladores "feedback", con la señal de salida del control maestro como "set point" del controlador esclavo y la salida del controlador esclavo va al elemento final de control.

El propósito de un control en cascada, es eliminar los efectos de pequeños cambios en el proceso y tomar acción con cambios indirectos en el sistema. A continuación se muestra un diagrama de control en cascada. (20, 21, 22)



LAZOS DE CONTROL

En base a la secuencia anterior se elaborarán los diagramas de control del sistema.





Se requiere que la temperatura a la salida del condensador sea de 60° C ("Set-point" para TT - 01). Esta temperatura es medida y enviada al PLC por el transductor de temperatura TT - 01, el cual es introducido en un lazo de control en cascada en un controlador maestro dentro del PLC. Este controlador maestro compara el valor enviado por TT - 01 con el "set-point" y, dependiendo de la diferencia que exista envía un valor al controlador esclavo, el cual accionará la válvula controladora de temperatura de agua de enfriamiento TCV - 02 hasta que el valor enviado por el transductor de temperatura TT - 03 al PLC sea igual al valor enviado al controlador esclavo.

El rango de operación para cada uno de los instrumentos de campo es el siguiente:

| INSTRUMENTO | SEÑAL AL PLC | RANGO OPERACION |
|-------------|--------------|-----------------|
| TT - 01 | 4 - 20 mA | 0 - 80 °C |
| TT - 03 | 4 - 20 mA | -10 - 30 °C |
| TCV - 02 | 4 - 20 mA | 0 - 100 °C |

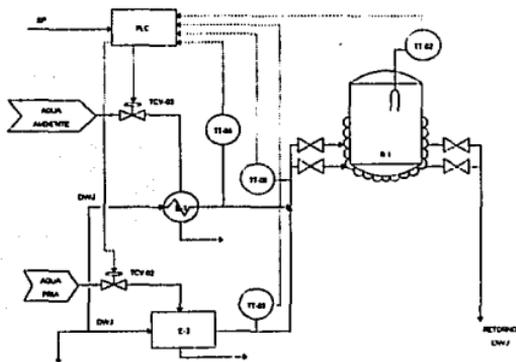
CONTROL DE TEMPERATURA EN EL REACTOR R - 1 DURANTE LA CARGA DEL REACTIVO DE GRIGNARD

Durante la primera carga del reactivo de Grignard se debe mantener la temperatura del reactor R-1 a 25 °C debido a que se genera calor durante el mezclado. Para este caso se



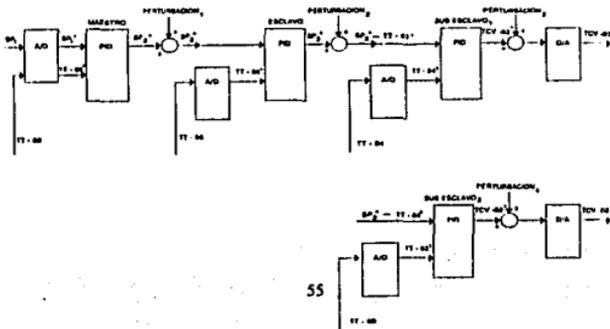
utiliza aceite a temperatura ambiente controlada por el transductor de temperatura del reactor R-1.

A continuación se muestra un diagrama de este sistema:



El mismo sistema se utiliza para la segunda carga del reactivo de Grignard, sólo que el SP cambia a 50 °C.

Este sistema es una cascada de control en temperaturas donde el transductor de la temperatura del reactor TT-02 es la PV en el PID maestro y el transductor de temperatura en la mezcla de aceite DWJ TT-06 en el PID esclavo. A continuación se muestra el lazo de control correspondiente:

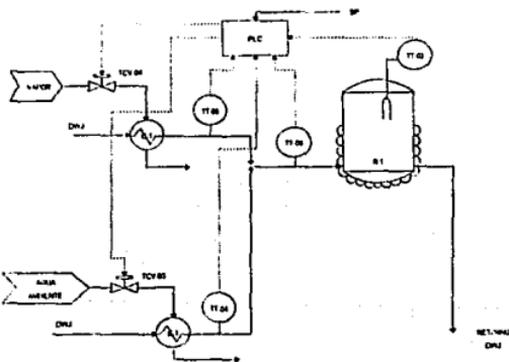




Este lazo de control es usado también en toda la etapa de enfriamiento después de que la reacción se lleva a cabo.

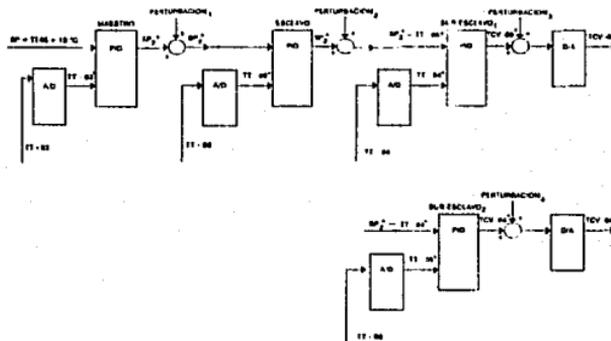
CONTROL DE TEMPERATURA EN R-1 PARA ETAPA DE CALENTAMIENTO:

Este sistema de control es similar al anterior, pero en vez de controlar la válvula de agua fría TCV-02, se controla la válvula TCV-04. A continuación se muestra un diagrama representativo de este sistema:



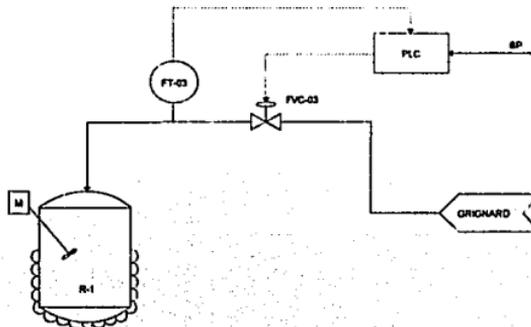
Mientras la reacción se está llevando a cabo, se debe controlar la temperatura en el reactor a 85 °C.

El lazo de control para este sistema es el siguiente:



CONTROL DE FLUJO DE REACTIVO DE GRIGNARD

La misma técnica de control de flujo del reactivo de Grignard que a continuación se describe, se aplicará para la adición del esteroide DOE - C:





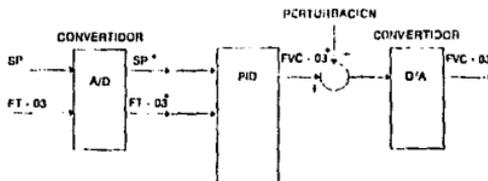
La adición de la primera carga del reactivo de Grignard se debe llevar a cabo lentamente y se tiene que controlar el flujo con la válvula FVC-03. Además de que en el PLC tiene

que estar almacenando el valor del flujo de entrada al reactor y compararlo con la cantidad especificada.

La adición de la segunda carga es más rápida que la anterior, por lo tanto, se debe especificar el valor deseado en el SP. El PLC comparará el SP con el valor enviado por el medidor de flujo FT-03 y manipulará la válvula FVC-03 hasta que estos valores sean iguales.

También, el PLC debe 'totalizar' el flujo de entrada al reactor, es decir, sumará el flujo por unidad de tiempo y lo comparará con la cantidad requerida en la reacción. Una vez que estos valores son iguales, el PLC mandará cerrar la válvula FVC-03.

A continuación se muestra un lazo de control para el sistema anterior:





TECNICAS DE MONITOREO Y AJUSTES DE PID's.

Un lazo de control cerrado debe ser monitoreado y ajustado para que se tenga una buena respuesta en el control. Los valores que se deben encontrar para cada sistema en particular son la ganancia proporcional, integral o derivativa, dependiendo de la variable a controlar.

Hay algunos métodos de monitoreo que permiten encontrar estos valores durante el arranque inicial del proceso. A continuación se expone una breve explicación de los métodos más usados de monitoreo de PID's:

1) Método de Prayer (ensayo y error): Tal vez es el método más popular y si se utiliza con un buen conocimiento del proceso es muy efectivo. Se emplea en lazos de velocidad media o procesos donde el tiempo que se necesita para que se establezca no es muy crítico.

2) Método de Ziegler-Nichols: Los valores calculados por este método se conocen como pseudo-estándares y son fáciles de encontrar y usar para proporcionar un desarrollo razonable sobre muchos lazos de control. El método de Ziegler- Nichols consiste, primero, en encontrar el valor de la ganancia al cual el lazo está en el límite de la estabilidad con un controlador proporcional. Posteriormente, se lleva al cabo el ajuste en la ganancia integral y, por último, se adiciona la ganancia derivativa para proporcionar rapidez en la salida del controlador.

Este método se usa para el monitoreo y ajuste de lazos de control en la mayoría de los PLC's.



3) Método de Auto-monitoreo: Generalmente es usado en controladores de un simple lazo que tienen su propia alimentación. Actualmente, se ha incluido en este método en PLC's, pero se debe adquirir el software por separado. El problema con este método, es que se presenta como una solución integral para encontrar los parámetros adecuados sin tomar en cuenta un buen conocimiento del proceso, siendo que éste es requerido para llevar a cabo un buen monitoreo.

Este método sólo da resultados favorables en procesos que cubran el intervalo de aplicación.



Lenguaje de Programación Utilizado en el Ejemplo de Aplicación.

Los PLC's fueron diseñados para control 'discreto' de máquinas y sistemas, a diferencia de los controladores de procesos, los cuales se utilizaron para manejo de operaciones de procesos continuos. Actualmente, ambos productos se basan en el uso de microprocesadores; es decir, son computadoras diseñadas para control de sistemas con la única diferencia del software que manejan para esto.

En el desarrollo de cada uno de estos dispositivos de control se generaban mejores técnicas de programación para cubrir con sus objetivos principales; por un lado se tenía a las computadoras de control analógico con una gran deficiencia en el manejo de control digital y por el otro se tenían a los PLC's que requerían el manejo de un buen control analógico.

El PLC fue inventado para reemplazar los gabinetes eléctricos de control y eliminar el excesivo cableado de dispositivos de campo; es por eso que la arquitectura del software utilizado para programar los PLC's es el de lógica de escalera (un arreglo de contactos y bobinas en un diagrama de escalera eléctrico) combinado con una ejecución booleana (en lógica booleana, el estado de una salida es determinado por una cierta combinación de entradas). En sus inicios, los PLC's cubrieron el tipo de aplicaciones para el que fueron desarrollados; posteriormente, conforme crecía el rango de aplicaciones se implementaron características más poderosas para permitir a estos dispositivos desarrollar algunas aplicaciones en el campo de las computadoras de control .



La única limitación de los PLC's para utilizarlos en aplicaciones complejas es que se deben implementar bloques especiales de programación en algún lenguaje de alto nivel (por ejemplo lenguaje C o Megabasic) complicando el sistema para propósitos de mantenimiento ; ya que se necesita de un experto en lenguajes de programación para asistir en problemas o realizar cambios en el sistema.

Por otro lado, las computadoras de control de procesos constan de un CPU (para ejecutar instrucciones), módulos de entradas/salidas (para conectar dispositivos de campo) y una interface de operación (para el usuario). Estos mismos componentes son también las partes de un PLC; como ya se mencionó antes, la gran diferencia se encuentra en el software de programación. Mientras que el software del PLC desarrolla un trabajo específico, en las computadoras industriales se tiene un menú para ejecutar diferentes funciones; además de contar con herramientas de programación para desarrollar aplicaciones en lenguaje C o en ensamblador.

Aunque en el software que utilizan las computadoras industriales se puedan desarrollar programas más complejos escritos en lenguaje de alto nivel, se requiere de rutinas complejas para llevar a cabo secuenciación digital o de un software especial.

Debido a la necesidad de un lenguaje de programación mas amigable y poderoso, algunas compañías como Adatek Co. han trabajado conjuntamente con fabricantes de PLC's para desarrollar protocolos y tarjetas de comunicación compatibles . En el caso de los PLC's G.E. Fanuc a esta tarjeta se le conoce como State Logic Processor (Procesador de Estado Lógico). El nombre de esta tarjeta proviene de la teoría de estados en la que se basa.



La ingeniería de estado ofrece una gran alternativa en control tanto para PLC's como para computadoras industriales, también ofrece nuevas características y un nivel eficiente de programación no utilizado previamente en cualquier otro tipo de metodología de control.

Las implementaciones de estado lógico residen en el hardware de control, el software para definir el programa y monitorear el sistema se llama 'ECLIPS' (English Control Language & Programming Software). Eclips requiere cualquier computadora IBM o compatible y como esta construido en base a un lenguaje de programación 'natural' no requiere de una gran experiencia en programación .

El término de lenguaje de programación natural significa que el usuario puede definir sus comandos de programación en su propio lenguaje, ya sea técnico, familiar o el correspondiente a su respectiva aplicación sin tener que utilizar palabras y formatos especiales como los requeridos por cualquier lenguaje de alto nivel.

TEORIA DE ESTADOS FINITOS.

Adatek Co. desarrolló la lógica de estados finitos para el control y manejo de sistemas físicos con cualquier combinación (secuenciación digital, control analógico, control de movimiento, procesos batch o continuos, etc.) basandose en la Ciencia de Máquinas de Estado Finito (CMEF). Los principios utilizados en la CMEF son ideales para simular cualquier problema de control, simplificando la implementación del sistema e incrementando la flexibilidad para hacer modificaciones futuras.

La lógica de estados finitos se basa en que todos los procesos ó máquinas son descritos por pasos secuenciales, cada uno de ellos con funciones específicas.



El software Eclips utiliza el término **Task (Tarea)** para definir las funciones de una máquina o de un proceso, el término **State (Estado)** para cada uno de los diferentes pasos y **Statement (Declaración)** para definir la acción final sobre el sistema. A continuación se describen brevemente cada uno de estos términos:

Task (Tarea) : Es una descripción de la actividad de un proceso expresada secuencialmente y en relación con el tiempo. El funcionamiento de una máquina o proceso puede ser dividido en varias tareas que se estén ejecutando en paralelo o en serie, dependiendo del sistema.

State (Estado) : La actividad de una tarea es descrita por una serie de pasos llamados estados, los cuales son ejecutados dependiendo de la secuenciación asignada por la tarea. La función principal de un estado es energizar salidas, dependiendo del programa de aplicación y de las entradas que reciba el sistema.

Statement (Declaración) : Puede iniciar una acción directa o basar el estado de una salida fundamentado en una sentencia condicional o una combinación de condiciones. Una sentencia condicional puede contener el valor de una entrada o una variable (constante, tiempo, cadena de caracteres, etc.)

En el modelo que dispone Adatek Co. para PLC's G.E. Fanuc se pueden programar hasta 256 tareas con 99 estados cada una y un número ilimitado de declaraciones dentro de cada estado. La estructuración de la programación en lógica de estado finito hace posible ciertas características que son imposibles o impracticables en otro tipo de lenguajes.



**ENGLISH CONTROL LANGUAGE & PROGRAMMING SOFTWARE (ECLIPS).
SOFTWARE DE PROGRAMACION Y LENGUAJE DE CONTROL EN INGLES.**

Eclips es un software para la elaboración de programas, monitoreo, manejo de información en línea y documentación; diseñado específicamente para el control de sistemas industriales, máquinas o procesos. Los programas de aplicación son implementados en Eclips automáticamente a partir de cualquier descripción que corresponda al sistema de control deseado, debido a que tiene una utilería que traduce el lenguaje normal al código requerido por el procesador de estado lógico. Eclips proporciona una variedad de opciones de documentación, las cuales son creadas automáticamente de la información disponible al especificar el programa de aplicación. Es por esta razón que la programación en estado finito le permite a los técnicos de mantenimiento tener un efectivo control del proceso y evitar interrupciones en el sistema.

A continuación se muestra el programa en lógica de estado finito para esta aplicación:

PROGRAMA DE APLICACION.

El programa de control en el reactor R-1 está dividido en las siguientes tareas:

- 1.- Interface de Operador .
- 2.- Control de Temperatura en el reactor R-1.
- 3.- Control de carga de reactivos.
- 4.- Control de la agitación en R-1.
- 5.- Control de Temperatura en C-1.
- 6.- Monitoreo de alarmas.



La forma en que las tareas 2, 3, 4 y 5 van a funcionar, ya fueron explicadas anteriormente; ahora se describirán brevemente las restantes:

INTERFACE DE OPERADOR.

Esta tarea manejará toda la comunicación entre el operador y el PLC. La información desplegada en la terminal_monitoreo de trabajo incluirá menus de selección, le informará al operador de situaciones de alarma, así como el arranque y paro del sistema.

MONITOREO DE ALARMAS.

Esta tarea se encargará de detectar las situaciones de alarma en el sistema, tales como: alta temperatura en el reactor si el valor es mayor de 85 C, baja temperatura de reacción si se tiene menos de 80 C, problemas en bombas, alta y baja temperatura en el condensador C-1, falla del agitador, etc. En caso de alguna falla en el equipo, esta deberá ser corregida antes de continuar y se deberá esperar en el estado Standby hasta que la situación se normalize.

SIMULACION DE LA APLICACION

Además del control del proceso, este programa proporciona una simulación de las entradas/salidas analógicas para los dispositivos de campo (temperatura, presión, etc.).



Task: Interface_Operador

State: PowerUp
ve_a arranque_sistema.

State: arranque_sistema

Escribe "

MENU DE ARRANQUE DEL SISTEMA

- 1.- Carga de disolventes.
- 2.- Carga del Reactivo de Grignard al Reactor.
- 3.- Carga del Esteroido DOE-C al Reactor." a la terminal_monitoreo.

Escribe "

INTRODUCE LA OPERACION DESEADA

" a la terminal_monitoreo.
Leer seleccion_inicial de terminal_monitoreo, entonces ve_aObtencion_inicial.

State: Obtencion_inicial
Si seleccion_inicial > 3 , entonces ve_a arranque_sistema.
Si sw16 es encendido, entonces ve_a powerup.

Task: Carga_Disolvente

State: PowerUp
Si seleccion_inicial=1, entonces ve_a obtencion_THF.

State: Obtencion_THF
Abrir la valvula N2 FV_10 durante 10 segundos.

! Adición de N2 para tener atmosfera inerte y THF como disolvente al ! ! Isistema.



Escribe " %CLS

INTRODUCE LA CANTIDAD DE THF REQUERIDA O
PRESIONA '0' PARA TOMAR EL VALOR DE DEFAULT

" a la terminal_monitoreo.

Leer Cantidad_THF de terminal_monitoreo, entonces ve_a comparacion_THF.

State: comparacion_THF

Si Cantidad_THF = 0, entonces asignar THF=200.

Si Cantidad_THF <> 0, entonces asignar THF=Cantidad_THF.

Asignar FT_02=15.

ve_a Adicion_THF.

State: adicion_THF

Abrir valvula FCV_02.

Si pulso_segundos es encendida, entonces asignar Tiempo_THF= Tiempo_THF +1,
entonces ve_a Calculo_flujo.

State: Calculo_flujo

Asignar FT_02INT=(FT_02/60)*tiempo_THF.

Si FT_02INT>=THF, entonces escribe " FIN DE ADICION DE THF" a la
terminal_monitoreo.

Si FT_02INT<=THF, entonces ve_a adicion_THF.

Si sw16 es encendido, entonces ve_a inicia_cond_THF.

State: inicia_cond_THF

Asignar seleccion_inicial=0.

Asignar FT_02INT=0.

ve_a powerup.

Adicion del reactivo de Grignard al reactor R-1.

Task: Carga_ReactivoGrign

State: PowerUp

Si seleccion_inicial=2, entonces ve_a obtencion_Grignard.

State: Obtencion_Grignard

Escribe " %CLS

INTRODUCE LA CANTIDAD DEL REACTIVO DE GRIGNARD REQUERIDA O
PRESIONA '0' PARA TOMAR EL VALOR DE DEFAULT.

" a la terminal_monitoreo.

Leer Cantidad_Grignard de terminal_monitoreo, entonces ve_a
comparacion_Grignard.



State: comparacion_Grignard

Si Cantidad_Grignard = 0, entonces asignar Grignard=500.

Si Cantidad_Grignard <> 0, entonces asignar Grignard=Cantidad_Grignard.

Asignar FT_03=200.

ve_a Adiciona_Grignard.

State: Adiciona_Grignard

Abrir valvula FCV_03.

Si pulso_segundos es encendida, entonces asignar Tiempo_Grignard=Tiempo_Grignard

+ 1.

ve_a Calculo_flujo_Grign.

State: Calculo_flujo_Grign

Asignar FT_03INT=(FT_03/60)*Tiempo_Grignard.

Si FT_03INT >= Grignard, entonces escribe " FIN DE ADICION DEL REACTIVO DE GRIGNARD.

" a la terminal_monitoreo.

Si FT_03INT <= Grignard, entonces ve_a Adiciona_Grignard.

Si sw16 es encendido, entonces ve_a inicia_cond_grignard.

State: inicia_cond_grignard

Asignar seleccion_inicial=0.

Ve_a powerup.

I Adicion del Esteroido DOE-C.

Task: Carga_DOE_C

State: PowerUp

Si seleccion_inicial=3, entonces ve_a obtencion_DOE_C.

State: Obtencion_DOE_C

Escribe " %CLS

INTRODUCE LA CANTIDAD DEL ESTEROIDE DOE-C REQUERIDA O
PRESIONA '0' PARA TOMAR EL VALOR DE DEFAULT.

" a la terminal_monitoreo.

Leer Cantidad_DOE_C de terminal_monitoreo, entonces ve_a
Comparacion_DOE_C.



State: Comparacion_DOE_C

Si Cantidad_DOE_C = 0, entonces asignar DOE_C=500.

Si Cantidad_DOE_C <> 0, entonces asignar DOE_C=Cantidad_DOE_C.

Asignar FT_04=200.

ve_a Adiciona_DOE_C.

State: Adiciona_DOE_C

Abrir valvula FCV_04.

Si pulso_segundos es encendida, entonces asignar Tiempo_DOE_C=Tiempo_DOE_C +

1.

ve_a Calculo_flujo_DOE_C.

State: Calculo_flujo_DOE_C

Asignar FT_04INT=(FT_04/60)*Tiempo_DOE_C.

Si FT_04INT >= DOE_C, entonces escribe " FIN DE ADICION DEL ESTEROIDE DOE-C.

" a la terminal_monitoreo.

Si FT_04INT <= DOE_C, entonces ve_a Adiciona_DOE_C

Si sw16 es encendido, entonces ve_a inicia_cond_DOE_C.

State: inicia_cond_DOE_C

Asignar seleccion_inicial=0.

Asignar FT_04INT=0.

ve_a powerup.

!Tarea de control para la temperatura del Condensador C-1.

Task: control_temp_c1

State: PowerUp

Si seleccion_inicial= 1, entonces ve_a Arranque_Cond_C1.

State: Arranque_Cond_C1

Abrir la valvula entrada a E_1 FV_03.

Abrir la valvula retorno_DWJ FV_07.

Arrancar la bomba BC_1.

Asignar SP_Cond_Maestro=60.

Arranca_PID Maestro_Condensador.

Arranca_PID Esclavo_Condensador.

Si sw10 es encendido, entonces ve_a Parar_Cond_C1.



State: Parar_Cond_C1
Para_PID Maestro_Condensador.
Para_PID Esclavo_Condensador.

Escribe "CONDENSADOR PARADO " a la terminal_monitoreo_y ve_a powerup.

Task: Control_Enfriamiento_R1

State: PowerUp
Si seleccion_inicial=2, entonces ve_a Asigna_SP_R1.
Si Fin_Reaccion=1, entonces ve_a Asigna_SP_R1.

State: Asigna_SP_R1
Escribe "%CLS

INTRODUCE EL VALOR DEL SETPOINT DE ENFRIAMIENTO EN
EL REACTOR R-1.

" a la terminal_monitoreo.

Leer SP_Reactor de terminal_monitoreo_y ve_a PID_Enfriamiento_R1.

State: PID_Enfriamiento_R1
Abrir la valvula entrada a E_1 FV_03.
Abrir la valvula retorno_DWJ FV_07.
Arrancar la bomba BC_1.

Arranca_PID Maestro_R1_Enfriamiento.
Arranca_PID Esclavo_R1_Enfriamiento.

Si sw_14 es encendido, entonces para_PID Maestro_R1_Enfriamiento, para_PID
Esclavo_R1_Enfriamiento_y ve_a powerup.

Task: Control_Calent_R1

State: PowerUp
Si sw9 es encendido, entonces ve_a Inicia_Calent_R1.

State: Inicia_Calent_R1



Escribe "%CLS
INTRODUCE EL VALOR DEL SETPOINT DE CALENTAMIENTO
para el reactor R1.
" a la terminal de monitoreo.
Leer SP_Calent_R1 de terminal_monitoreo_y ve_a Obten_PID_Valores.

State: Obten_PID_valores

Asignar Flujo_Total_DWJ= FT_05_DWJ_Amb + FT_06_DWJ_Cal.
Asignar Fraccion_DWJ_amb= FT_05_DWJ_Amb/Flujo_Total_DWJ.
Asignar Fraccion_DWJ_Cal= FT_06_DWJ_Cal/Flujo_total_DWJ.

Asignar $TT_{??_SP_Amb_PID3} = (Var_Control_R1 - (TT_{??_SP_Cal_PID4} * Fraccion_DWJ_Cal)) / Fraccion_DWJ_Amb$.

Asignar $TT_{??_SP_Cal_PID4} = (Var_Control_R1 - (TT_{??_SP_Cal_PID4} * Fraccion_DWJ_Cal)) / Fraccion_DWJ_Amb$.

Arranca_PID Maestro_Cal_PID1_R1.
Arranca_PID Esclavo_Cal_PID2_R1.
Arranca_PID Subesc1_Cal_PID3_R1.
Arranca_PID Subesc2_Cal_PID4_R1.

Si sw8 es encendido, entonces ve_a Parar_Calen_R1.

State: Parar_Calent_R1

Para_PID Maestro_Cal_PID1_R1.
Para_PID Esclavo_Cal_PID2_R1.
Para_PID Subesc1_Cal_PID3_R1.
Para_PID Subesc2_Cal_PID4_R1.

ve_a powerup.



CONCLUSIONES.

Con el ejemplo del reactor se mostró una alternativa de control de procesos utilizando PLC's G.E. Fanuc en vez de computadoras de control industrial o Sistemas de Control Distribuido (DCS); haciendo énfasis en las poderosas características que los PLC's han adquirido en los últimos años en cuanto a hardware y en el software mostrando un lenguaje de programación en estados finitos muy amigable, 'transparente' y muy útil en la localización de fallas en el sistema de control ya que le permite a los técnicos de mantenimiento reducir tiempos de paro de procesos. Además de que cualquier ingeniero que conozca a la perfección la aplicación, puede desarrollar la programación en su propio lenguaje.

Con la implementación de las técnicas de control de PLC's a la reacción entre el reactivo de Grignard y la 11,14 Dicetona, se demuestra que este tipo de equipos pueden ser utilizados en el campo de la industria química, petroquímica, farmacéutica, alimenticia y en general a todo tipo de procesos en donde se requiera controlar la calidad del producto con límites muy aceptables y con una elevada productividad, reduciendo de esta forma el costo del producto final. También, la implementación de este tipo de sistemas ayudan a que el personal de diseño conozca más rápidamente el proceso con la finalidad de realizar modificaciones futuras hasta llegar al punto óptimo de trabajo.

Un punto muy importante que se debe de considerar desde la selección del equipo de control es un buen manejo de alarmas, que le permitan al operador en todo momento conocer el estado del sistema, además de predecir fallas de cada uno de los componentes o equipos involucrados en el proceso, ya que la gente de operación y mantenimiento serán las responsables del equipo después de la instalación.



Actualmente la tecnología ofrece un sin número de opciones para el control de procesos industriales y se debe ser muy cuidadoso para seleccionar el equipo adecuado, ya sea PLC's, DCS's, computadoras de control industrial ó autocontroladores individuales.

Generalmente, las necesidades del cliente final y la experiencia del mismo con cierto tipo de equipo de control son los factores más importantes para realizar la selección, pero siempre queda la duda " Es este equipo la mejor opción para mi sistema de control?". Esta pregunta será contestada posteriormente por la gente que opere y le dé mantenimiento al equipo.

En el campo industrial se pueden encontrar trabajando una gran infinidad de hardware de control e inclusive arquitecturas híbridas, pero el rango de aplicación de cada una de ellas se tiene bien definido. Cuando un equipo de control se empieza a introducir en el campo de trabajo de otro, como es el caso de los PLC's que empiezan a desplazar a los DCS's en el área de control de procesos industriales ; deben evaluarse las características, ventajas y desventajas de cada uno ellos, por un lado se tiene una gran confianza en los equipos de Control Distribuido y por el otro , se conocen las bondades, las nuevas características y las aplicaciones de los PLC's; además de que tienen precios más bajos que los DCS's.

Según expertos en PLC's un criterio muy importante para decidir entre un PLC y un DCS, es que si se tiene un sistema con un número máximo de 80 lazos de control PID un PLC es la mejor opción.(26).

**BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Automated Factories myth or reality?, ISA Publication, Industrial Computing, Nov, pp 33-35, (1990).
- 2.- Dan, L. Shunk, Computer-Integrated manufacturing, Krieger Publishing Co, pp 83-100, USA.
- 3.- Brobeck, R. John, Best & Taylor's: Physiological Basis of Medical practice, Editorial the Williams & Wilkins Co., USA, 1973, pp 9-178.
- 4.- Luyben, W.L., Process Modeling, Simulation & Control for Chemical Engineers, Mc Graw Hill, USA, 1974.
- 5.- G.E. Fanuc Automation, Controladores Programables Serie 90, Virginia, USA, 1991.
- 6.- Clearence, T. Jones & Bryan, A. Luis, Programmable Control, Int. Programmable Control Inc., Atlanta, USA, pp 205-379.
- 7.- Coulson, J.M. & Richardson, J.F., Process Control, Chemical Engineering Collection, Second Edition, Pergamon Press, USA, 1979.
- 8.- G.E. Fanuc Automation, Automation Products Selection Guide, Virginia, USA, 1990.
- 9.- G.E. Fanuc Automation, Programmables Controllers, Virginia, USA, 1991.
- 10.- G.E. Fanuc Automation, GEK-90486-2, Genius I/O Discrete & Analog Blocks User manual, Volume 2, Virginia, USA, 1992.
- 11.- G.E. Fanuc Automation, GFK- 0600, Series 90-70 Programmable Controller, Data Sheets, Virginia, USA, 1990.
- 12.- G.E. Fanuc Automation, GEK-90486-1, Genius I/O System & Communications User's Manual, Volume 1, Virginia, USA, 1992.



- 13.- G.E. Fanuc Automation, Cimplicity System I/U Managers Manual, Albany N.Y, USA, 1990.
- 14.- G.E.Fanuc Automation, GFK-0534, Cimplicity 70- Graphics Display System User's Manual, Virginia,USA, 1990.
- 15.- G.E. Fanuc Automation, GFK-0499, Cimplicity 90- Alphanumerics Display System User's Manual, Virginia,USA, 1992.
- 16.- Idaczak, Joseph, Corn Oil Refinery shifts to DCS in just 48 hrs, Processing & Control, Volumen , pp 31-33.
- 17.- Sociedad de Instrumentistas de America, Expocontrol 92, Caracteristicas y Evaluación de un Sistema de Control Distribuido, México, 1992, 170 p.
- 18.- Bryan, L.A., Programmable Controller Workbook & Study Guide, Industrial Text Co., USA, 1978.
- 19.- Johnson, C.D., Process Control Instrumentation technology, Ed. Wiley, N.Y., USA, 1988.
- 20.- Perry, H. Robert, Biblioteca del Ingeniero Químico, Mc Graw Hill, México, 1986.
- 21.-
- 22.- General Electric Co., Proportional, Integral & Derivative Control with the Series Six PLC, Volume 1, USA, 1984.
- 23.- G.E. Fanuc Automation, GFK-0750, OnTop For Series 90-70 Online Troubleshooting & Operator Program, State Logic Producs, Virginia, USA, 1992.
- 24.- G.E. Fanuc Automation, GFK-0726, State Logic Processor for Series 90-70 PLC, Virginia, USA, 1992.
- 25.- G.E. Fanuc Automation, ECLIPS Software Manual, Virginia,USA,1992.

**Capítulo 1:**

| | Pág |
|-------------------------------|------------|
| - Conceptos Generales | 4 |
| - Importancia de la Cortisona | 5 |

Capítulo 2:

| | |
|-----------------------------------------------|----|
| - Conceptos Generales de la Teoría de Control | 8 |
| - Dinámica de Procesos | 8 |
| - Variables de Entrada | 8 |
| - Variables de Salida | 9 |
| - Lazo de Control (Loop) | 9 |
| - Control por Retroalimentación (Feedback) | 10 |
| - Control por Preamalimentación (Feedforward) | 10 |
| - Estabilidad del Proceso | 11 |
| - Controlador Lógico Programable (PLC) | 11 |
| - Unidad Central de Procesamiento (CPU) | 12 |
| - Sistema de Entradas/Salidas (I/O) | 13 |
| - MicroPLC's | 14 |
| - Pequeños PLC's | 14 |
| - Medianos PLC's | 15 |
| - Grandes PLC's | 16 |
| - Rack | 19 |
| - Fuente de Poder | 20 |



| | |
|--------------------------------------------------|----|
| - CPU | 20 |
| - Módulo Transmisor de Bus (BTM) | 21 |
| - Módulo Receptor de Bus (BRM) | 21 |
| - Controlador de Bus I/O Genius (GBC) | 21 |
| - Coprocesador de Despliegue Gráfico (GDC) | 22 |
| - Coprocesador de Comunicaciones (CMM) | 22 |
| - Módulo de Entradas Discretas | 23 |
| - Módulo de Entradas Analógicas | 24 |
| - Módulo de Salidas Discretas | 26 |
| - Módulo de Salidas Analógicas | 27 |
| - Bloques de I/O Genius | 29 |
| - Bus de Comunicaciones | 30 |
| - Monitor Configurador Manual (HHM) | 30 |
| - Terminal de Programación | 31 |
| - Sistema de Adquisición de Datos Simplicity I/U | 32 |

Capítulo 3:

| | |
|-------------------------------|----|
| - Instrumentación Neumática | 35 |
| - Instrumentación Electrónica | 36 |
| - Sensor | 36 |



| | |
|------------------------------------------------|----|
| - Transmisor | 36 |
| - Circuito de Puentes | 37 |
| - Transformador Diferencial de Variable Lineal | 38 |
| - Transductores Térmicos | 38 |
| - RTD's | 39 |
| - Termistores | 40 |
| - Termopar | 40 |
| - Transductores de Presión | 41 |
| - Manómetro de Deformación | 41 |
| - Tubo de Buordon | 41 |
| - Transductores de Flujo | 42 |
| - Flujo de Sólidos | 42 |
| - Flujo de Líquidos | 43 |
| - Tubo Venturi y Placa de Orificio | 43 |
| - Medidor de Flujo Tipo Turbina | 44 |
| - Transductores de Nivel de Líquidos | 45 |

Capítulo 4:

| | |
|----------------|----|
| - PID | 50 |
| - Proporcional | 52 |
| - Integral | 52 |
| - Diferencial | 52 |



| | |
|----------------------|----|
| - Control en Cascada | 53 |
|----------------------|----|

Capítulo 5:

| | |
|---------------|----|
| - Tarea | 64 |
| - Estado | 64 |
| - Declaración | 64 |

| | |
|---------------------|-----------|
| Conclusiones | 73 |
|---------------------|-----------|

| | |
|---------------------|-----------|
| Bibliografía | 75 |
|---------------------|-----------|