



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN
SISTEMA DE CONTROL BASADO EN
MICROPROCESADORES PARA UN TREN DE
CAMBIADORES DE CALOR**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

FEDERICO FERNANDEZ HERNANDEZ



MEXICO, D. F.

1996

JURADO ASIGNADO

Presidente: Prof. JAVIER AUDRY SANCHEZ
Vocal: Prof. JOSE AGUSTIN TEXTA MENA
Secretario: I.Q. FRANCISCO JAVIER CASTRO BARRERA
1ER. SUPLENTE: Prof. AMBROSIO CHAVEZ CHAVARRIA
2DO. SUPLENTE: Prof. JOSE FERNANDO BARRAGAN AROCHE

Sitio donde se desarrolló el tema: Facultad de Química de la UNAM.

Asesor: I.Q. Francisco Javier Castro Barrera.



Sustetante: Federico Fernández Hernández.



Dedico esta tesis a mi novia Vanesa Aurea Sánchez Ortiz, a quien amo profundamente.

Agradecimientos:

A mi abuelita la Sra. Lilia Ugartechea Veerino, quien siempre me ha brindado su amor y gran cariño.

A mis padres: Lic. José Moreno Martínez, por su cariño y enseñarme a ser honesto y humilde.

Lilia Gabriela Hernández Ugartechea, por ser una gran madre y enseñarme que todo lo puedo lograr.

A mis hermanos: Edmundo Fernández Hernández

Lilia Angélica Fernández Hernández

José Alberto Moreno Hernández

Por tantos momentos agradables y su gran cariño.

A mis tios, tias y primos, por su cariño y confianza .

A mis amigos y amigas, por su gran amistad.

A la Dra. Silvia Elena Castillo Blum, a quien admiro por ser una gran persona le agradezco el permitirme desarrollar mi trabajo en su área de trabajo; donde mantiene un ambiente agradable y prospero.

Al Ingeniero Francisco Javier Castro Barrera, por brindarme su tiempo.

Indice	Página
Introducción	1
1. Justificación de la implementación de un sistema de control basado en microprocesadores	6
1.1 Introducción al control de procesos	6
1.2 Evolución de los sistemas de control de procesos	7
1.3 Elementos de un circuito de control	9
1.4 Primeros sistemas de control distribuido	10
1.5 Sistemas de control centralizados	11
1.6 Computadoras supervisoras de control	12
1.7 Sistemas de control digital directo	14
1.8 Modernos sistemas de control distribuidos e integrados	15
1.9 Controladores digitales	16
1.10 Consola del operador	16
1.11 Eslabonamiento de datos	19
1.12 Computadora supervisora	20
2. Descripción y análisis de la operación y el control actual del tren de cambiadores de calor	23
2.1 Técnica de operación y control actual del tren de cambiadores de calor	24
2.2 Características del tren de cambiadores de calor	26
2.3 Relación de instrumentos existentes en el tren de cambiadores de calor	27
2.4 Diagrama de flujo del tren de cambiadores de calor	28
2.5 Relación de válvulas abiertas y cerradas para los diferentes arreglos del equipo	29
3. Ingeniería Básica	31
3.1 Datos básicos de la operación del tren de cambiadores de calor	31
3.1.1 Temperaturas de operación de los cambiadores EA-102 y EA-103	31
3.2 Modelo matemático del tren de cambiadores de calor	33
3.2.1 Diseño de las válvulas de control de agua	38
3.2.2 Análisis de grados de libertad	39
3.2.3 Lista de variables del modelo matemático	40
3.3 Definición de los objetivos de control	42
3.3.1 Clasificación de variables en un proceso químico	43
3.3.2 Selección de variables manipulables	44
3.4 Definición de límites, alarmas y puntos de ajuste	45
3.5 Configuración de control	45
3.5.1 Configuraciones de control propuestas	46
3.5.2 Análisis del desempeño dinámico de las distintas configuraciones	52
3.5.3 Selección de la configuración de control	52
3.6 Índice de instrumentos	53
3.7 Diagrama de tubería e instrumentación	55
3.8 Selección y especificación de equipos e instrumentos	56
4 Ingeniería de Detalle	63
4.1 Direccionamiento de señales lógicas y analógicas	63
4.2 Condiciones para la operación del equipo	64
4.2.1 Descripción del diagrama lógico del equipo	65
4.2.2 Diagrama lógico	66
4.2.3 Descripción del diagrama de proposición de red de control	67
4.2.3 Diagrama de proposición de la red de control	68
4.3 Lista de materiales	69
4.4 Estimado del costo del proyecto	70
5 Conclusiones	73
6 Referencias	76

INTRODUCCION.

En este trabajo de tesis se diseñó un sistema de control distribuido para un equipo de transferencia de calor (tren de cambiadores de calor). Este equipo se encuentra instalado en el laboratorio de la Facultad de Química de la UNAM.

La tecnología de control se ha desarrollado para lograr que los procesos modernos operen casi idealmente. Estos avances tecnológicos incluyen a todos los elementos de un circuito de control, el controlador ahora es un equipo basado en microprocesador que recibe todas las señales, tanto las del proceso como las del operador, y mediante programas prediseñados manda de regreso señales de respuesta apropiadas. Los dispositivos de medición y los elementos de control final cuentan con elementos electrónicos, eliminando así las desventajas de los sistemas neumáticos. Por último las líneas de transmisión son redes de comunicación digital que permiten la comunicación entre el operador y el proceso; así el operador puede revisar el proceso, iniciar acciones de control y recibir toda la información que requiera.

De esta manera la implementación de un sistema de control distribuido, para un proceso en particular, permite cumplir los siguientes requerimientos: seguridad, especificaciones de producción, regulaciones ambientales, restricciones de operación y económicos, todos estos con una rentabilidad mayor que los sistemas de control convencional.

Entre las ventajas del sistema de control distribuido realizado en este trabajo podemos identificar las siguientes.

- Implementar en el laboratorio un equipo de control moderno, logrando así una actualización en los equipos de control que servirá como apoyo para los alumnos en el conocimiento de los sistemas de control industrial.

- Permitirá que los alumnos, al realizar la práctica de transferencia de calor, estén en contacto con instrumentación moderna, identificando los ciclos de control y sus elementos.

- Los alumnos tendrán acceso a la información actual del proceso, los parámetros de equipo, los datos requeridos por la práctica, los valores de los puntos de ajuste del controlador, el estado del equipo, abierto ó cerrado para válvulas, encendido ó apagado para equipos; además de instrucciones en texto que le indican al operador como poner en funcionamiento el equipo. Todo esto es presentado en un monitor que aunado a otros dispositivos conforman la consola de operación.

- La operación del equipo se realizará desde la consola de operación, donde un teclado permitirá encender el equipo y modificar sus condiciones de operación como pueden ser: manipular válvulas para operar en serie o en paralelo el tren de cambiadores, variar los flujos de agua o vapor con cambios en los valores de los puntos de ajuste, y solicitar la información que requiera.

Para el diseño del sistema de control distribuido se tomaron una serie de pasos consecutivos; los cuales se describen brevemente a continuación:

1) Justificación de la implantación de un sistema de control basado en microprocesadores.

En este capítulo se dan razones de la conveniencia de un SCD para fines didácticos, ya que se contará con un material de apoyo para la práctica de

laboratorio y para las siguientes asignaturas, dinámica y control de procesos, transferencia de calor, simulación y optimización de procesos y en disciplinas como la identificación de procesos, determinación de parámetros (coeficientes globales de transferencia, intervalo, acercamiento, etc).

Así como introducir al estudiante a la operación de plantas mediante el uso de equipos programables.

2) *Descripción y Análisis de la operación y el control actual del tren de cambiadores de calor.*

Esto nos permite conocer el funcionamiento del equipo tanto individualmente o como parte integral de un proceso, dándonos fundamentos para limitar el alcance de nuestro sistema de control, además de presentar los datos básicos de la operación del equipo, los objetivos de la práctica y los diagramas de flujo de las diferentes formas de operación.

3) *Ingeniería Básica.*

- Definición de los objetivos de control.

Son la base de nuestro diseño, y definen cuales serán las variables manipulables, medibles y controlables.

Los objetivos de control estarán íntimamente ligados con requerimientos de seguridad, especificaciones de producción, regulaciones ambientales, restricciones de operación y factores económicos.

- Definición de Límites, Puntos de ajuste y Alarmas.

Los límites fijan la región de operación del proceso.

Los puntos de ajuste son los valores que se desean mantener de las variables a controlar.

Las alarmas indican que los límites se han sobrepasado.

- Proposición de Configuraciones de Control.

La configuración de control es el arreglo de instrumentos y de equipo de control involucrados en el diseño. Pueden existir varios arreglos que cumplan con los objetivos de control.

- Análisis del Desempeño Dinámico de las Distintas Configuraciones.

Se elabora un programa de simulación de la operación del equipo utilizando las distintas configuraciones con sus respectivos ciclos de control.

- Selección de la Configuración de Control.

El resultado del análisis previo indica cual configuración será usada; la que mejor cumpla con los objetivos de control.

- Diagrama de Tubería e Instrumentación.

Al obtener la arquitectura de control final, ésta será integrada al diagrama de tubería e instrumentación, ya que éste presenta toda la tubería con su identificación correspondiente, las líneas de transmisión y además todos los instrumentos y ciclos de control.

- Índice de Instrumentos.

En este documento se listan cada uno de los instrumentos que constituyen todos los circuitos de control del proceso indicándose su localización y servicio para llevar a cabo contabilidad y su posterior adquisición.

Selección y Especificación de Equipos e Instrumentos.

Se elaboran hojas de datos, donde se especifica que características deben cumplir equipos e instrumentos

4) Ingeniería de Detalle.

- Direccionamiento de Señales Lógicas y Analógicas.

Es la asignación de las señales de campo a los canales de las tarjetas de entrada y salida del controlador.

- Lista de Materiales.

Indica cuales son los materiales necesarios para instalar equipo de control, instrumentos de medición y líneas de transmisión.

- Estimado del Costo del Proyecto.

Da una idea de cuanto cuesta automatizar el tren de cambiadores de calor del laboratorio de ingeniería química.

En las secciones siguientes se abordaran más ampliamente los aspectos relacionados con los puntos antes citados.

1. JUSTIFICACION DE LA IMPLANTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES.

El equipo de control basado en microprocesadores, tanto control lógico y analógico han sido protagonistas de una verdadera revolución en el área de control en las últimas décadas.

Actualmente muchas plantas químicas nuevas son construídas con sistemas de control distribuido, por lo que es necesario que el ingeniero químico conozca estos nuevos equipos para el control, sin embargo, los cambios en los conceptos de control no han sido desarrollados en el laboratorio de ingeniería química. La implementación de un sistema de control distribuido para el tren de cambiadores de calor permitirá que los estudiantes tengan una introducción a la operación de plantas químicas mediante el uso de equipos programables. Además, como se mencionó anteriormente, permitirá tener un material de apoyo para diferentes asignaturas.

Para ilustrar como las nuevas tecnologías han cambiado el ámbito de los sistemas de control de procesos y porque un sistema de control avanzado puede mejorar drásticamente el desempeño de una planta, es de mucha ayuda revisar cómo y por qué han sido desarrollados los sistemas de control.

1.1 INTRODUCCION AL CONTROL DE PROCESOS.

Retos y oportunidades del control de procesos.

El paso acelerado del progreso en tecnología a provocado que algunas plantas existentes se vuelvan obsoletas o casi obsoletas. Para algunas de estas plantas la única respuesta es la de cerrar sus puertas y reemplazar el proceso usando una técnica más avanzada, con la cual la planta podrá ser competitiva; para

otras plantas los nuevos procesos pueden ser sólo una optimización de la operación de los antiguos procesos, usualmente mayor calidad, incremento de producción y abaratamiento de los costos de operación. Usualmente el método clásico utilizado es lo que se conoce como "economía de escala", (es decir, la construcción de una planta de mayor tamaño). Una refinería de petróleo de 200,000 barriles por día es usualmente más eficiente que una de 100,000 barriles por día, aún cuando tienen procesos unitarios similares, esto se debe a que si existe mayor recuperación de calor, las unidades pueden ser económicamente justificadas y a que una unidad de proceso de gran capacidad necesita el mismo número de operadores directos que uno más pequeño. Para este tipo de plantas la modernización del sistema de control, utilizando mediciones avanzadas e instrumentos de cómputo, pueden hacer que una planta vieja sea competitiva con respecto a una nueva. Esto ha sido probado en algunos ejemplos en los últimos años. Este tipo de proyectos usualmente demandan mucho menor desembolso de capital que la construcción de una nueva planta, y pueden ofrecer excelentes retornos de inversión. Sin embargo la aplicación de estas nuevas tecnologías requiere de más altos niveles de administración e ingenieros expertos. La aplicación de los sistemas de control de proceso avanzado pueden ser una experiencia muy provechosa para los ingenieros.

1.2 EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE PROCESOS.

En el mejor de los mundos posibles, los productos químicos podrían ser manufacturados de materias primas de propiedades conocidas e invariables y en equipos de eficiencia incambiable para lograr mercados constantes de los cuales las cantidades requeridas y los precios se mantuvieran constantes siempre. Sin embargo en el mundo real, las condiciones distan mucho de esto. Las características físicas y químicas de la materia prima varían, así como las cantidades disponibles, el desempeño dinámico de los intercambiadores de calor, reactores, compresores y otros equipos, además de ciertos valores de las

reactores, compresores y otros equipos, además de ciertos valores de las variables del proceso y también las condiciones ambientales, como la temperatura del aire, humedad y la velocidad del viento y los clientes tienen el hábito de cancelar o incrementar sus órdenes o buscan productos mejores o diferentes.

Sin cambios de este tipo, los sistemas de control no serían necesarios. En procesos continuos, los diseños podrían ser optimizados y los flujos podrían ser fijados para todo el tiempo de operación, lo cual permitiría la manufacturación de los productos requeridos en las cantidades deseadas con costo mínimo. En los procesos por lotes con válvulas actuadas por programadores electromecánicos (las cuales no presentan atención al desarrollo de la operación del proceso) podrían ser usadas para fortalecer un programa de variación de las condiciones de operación. Sin embargo, puesto que estos cambios ocurren, algunas formas de control son necesarias.

Esta necesidad de controlar las variaciones de un proceso a permitido la evolución de la tecnología de control de proceso en los últimos 50 años incrementando el nivel de capacidad de control.

El desarrollo de tecnologías de control ha pasado por tres épocas fundamentales: control manual, control analógico y finalmente control digital.

Se examinará cada una de las tres épocas en el desarrollo de sistemas de control en términos de la definición de control. En el sentido más general, "el control es la acción de respuesta a la información"⁽⁶⁾.

En un principio el control fue realizado manualmente por el operador, que observaba las condiciones del proceso y el desempeño; y con base en una acción manual corregía o ajustaba la variable o cambiaba el estado de acción. Controlar el proceso requirió de una constante observación de las condiciones y frecuentemente de acciones correctivas en respuesta a cambios de esas condiciones. Esta técnica tiene el problema de que si el proceso cambia significativamente y esto es pasado por alto por el operador las consecuencias podrían ser desastrosas.

En el siguiente período se introdujeron los dispositivos de control, los cuáles compensaban automáticamente algunas de las perturbaciones, éstos fueron llamados controladores analógicos.

El control analógico se lleva a cabo mediante el uso de un dispositivo de medición (instrumento de medición) que genera una señal neumática o eléctrica (que es análoga o representativa de la variable de proceso que se está midiendo) y que es alimentada a un dispositivo que continuamente manda acciones de control al evaluar el error de la señal junto con un valor de referencia (punto fijo). El operador determina el valor de referencia. De esta forma el valor de la señal de salida (señal de control), es función del error entre la señal al medir la variable del proceso y el valor de referencia; esta funcionalidad puede ser simplemente establecida mediante el uso de una constante de proporcionalidad o de formas más complejas, ya sea evaluando la tasa de cambio del error y/o la integral en el tiempo del error.

La última evolución de instrumentos avanzados de control ha sido la aplicación de computadoras digitales. Al principio las computadoras para el control de procesos no fueron muy aceptadas por los usuarios principalmente por el alto costo de los sistemas computarizados y por la carencia de técnicos expertos. Sin embargo el desarrollo de tecnologías electrónicas ha eliminado costos y la capacitación de ingenieros expertos en sistemas de control computarizados ha mejorado el desempeño de estos sistemas.

1.3 ELEMENTOS DE UN CIRCUITO DE CONTROL.

El concepto básico para automatización de una planta, por lo menos en sistemas de control convencional, es fijar algunas variables del proceso en valores fijos predeterminados los cuales son introducidos por el operador. Esta función es lograda por la implementación de circuito de control. Un circuito típico de control consiste de un instrumento de medición, un controlador y un elemento final de

control. Usualmente el más utilizado es el que regula el flujo de un fluido, donde usualmente el instrumento de medición es una placa de orificio y un transmisor de presión diferencial, el dispositivo de control es usualmente un controlador proporcional integral y el elemento final de control es usualmente una válvula de control neumática.

1.4 PRIMEROS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO.

Los primeros sistemas de control automáticos en plantas químicas fueron implementados en los años 40⁽⁶⁾, fueron diseñados localizando los controladores cerca de los instrumentos de medición, así los controladores fueron distribuidos a través de la planta, mientras que este tipo de sistemas de control costaban menos que otros la desventaja era que los operadores caminaban alrededor de la planta para recolectar información e introducir los valores de los puntos fijos. Para evitar esto los ingenieros desarrollaron paneles donde localizaron algunos controladores y añadieron monitores. Los paneles de control local son situados junto al equipo que será controlado.

Un panel de control para un calentador el cual es localizado cerca del proceso contiene controladores (con estaciones de punto fijo), registradores, indicadores, anunciadores, botones de arranque, interruptores, etc. Los operadores usan los instrumentos de este panel para monitorear y controlar el calentador. Otros paneles son localizados a través de la planta para otras operaciones. Cuando un operador es asignado al control de una parte del proceso utiliza algunos paneles para capturar información y para introducir los puntos de ajuste.

Los primeros circuitos de control fueron basados en tecnología neumática, la cual funciona de la siguiente forma⁽⁶⁾.

Los transmisores neumáticos convierten una señal primaria, tal como una presión diferencial a través de una placa de orificio, a una señal de presión de aire la cual

cual es esencialmente una computadora analógica, desarrolla cálculos matemáticos por balanceo de la presión de aire con los dispositivos mecánicos, y el resultado del cálculo se transmite al instrumento final de control, como un porcentaje de la cantidad de la escala total (presión de aire).

El controlador neumático está diseñado para una medición de proceso (variable de proceso), un punto fijo, y da un resultado basado en un algoritmo predefinido. Cálculos de control sofisticados son logrados por eslabonamiento de dos o más controladores juntos que utilizan diferentes algoritmos.

Los típicos algoritmos son proporcional (P) proporcional-integral (PI), proporcional-integral-derivativo (PID) y otras operaciones matemáticas como sumadores, multiplicadores, raíz cuadrada, etc.

Métodos empíricos y analíticos fueron desarrollados rápidamente para calcular los parámetros de ajuste para los controladores. Ziegler-Nichols y Caldwell, son los métodos mejor conocidos, fueron desarrollados durante los años 40 y 50 y hasta la fecha se utilizan.

Los controladores neumáticos tienen una ventaja sobre la siguiente generación de controladores electrónicos, ya que no presentan riesgo de explosión o incendio y presentan una desventaja, tienen una distancia limitada en transmisión por lo que los paneles de control no pueden ser localizados muy lejos del proceso.

1.5 SISTEMAS DE CONTROL CENTRALIZADOS.

El crecimiento económico después de la segunda guerra mundial hizo que la integración de plantas de proceso en gran escala fuera viable. Para optimizar el monitoreo y control de esas grandes plantas, fue deseable proveer de comunicación de información entre las unidades de proceso, de esta manera surgió el concepto de usar un cuarto de control centralizado para controlar una planta dentro de éste. En un principio sistemas de control electrónico, los cuales fueron desarrollados para uso militar, estuvieron disponibles para aplicaciones industriales al inicio de los años 50. Los algoritmos y conceptos de diseño

planta dentro de éste. En un principio sistemas de control electrónico, los cuales fueron desarrollados para uso militar, estuvieron disponibles para aplicaciones industriales al inicio de los años 50. Los algoritmos y conceptos de diseño utilizados por esos primeros controladores electrónicos eran prácticamente idénticos a los usados por los controladores neumáticos desarrollados previamente. Sin embargo, los sistemas electrónicos tienen ventaja con respecto a los sistemas neumáticos, las señales de control pueden ser transmitidas en distancias mucho más grandes y los instrumentos son más pequeños, requiriendo mucho menos espacio en el panel. Así los instrumentos análogos electrónicos empezaron a dominar el mercado, donde fueron utilizados en grandes cuartos de control centralizados. El riesgo de incendio de los instrumentos electrónicos fue minimizado usando purgas de aire y cuartos de control de presión positiva. Diseños intrínsecamente seguros y barreras de seguridad fueron desarrollados posteriormente.

Las aplicaciones de control más sofisticadas fueron desarrolladas para incrementar el desempeño del control utilizando controladores electrónicos y neumáticos⁽⁷⁾.

Ejemplos típicos son control adelantado, control no lineal y control multivariable. Estas funciones se logran eslabonando dispositivos analógicos simples como juntar controladores proporcional-integral y multiplicadores. Se necesitó de expertos en instrumentación especial para diseñar y dar mantenimiento a estos sistemas ya que las limitaciones de estos dispositivos hicieron que los ingenieros de proceso tuvieran dificultades para trabajar con ellos.

1.6 COMPUTADORAS SUPERVISORAS DE CONTROL.

En los años 50 las computadoras electrónicas fueron desarrolladas para aplicaciones industriales⁽⁶⁾, cumpliendo éstas con objetivos generales. Las primeras aplicaciones para estas computadoras se limitaban a procesar datos

(como sistemas de nóminas) y a realizar cálculos ingenieriles (como resolver problemas de análisis numérico). Algunas otras fueron utilizadas para procesar datos por lotes, en donde diferentes programas son cargados y ejecutados por el operador de control; algunos otros fueron usados en el llamado modo en-línea tiempo-real. El concepto de usar una computadora en-línea tiempo-real para controlar una planta fué desarrollado durante los años 50.

El control computarizado es la tecnología donde una computadora digital es instalada como parte integral de la instrumentación de proceso para aumentar la habilidad del operador para controlar el proceso. Para lograr esto la computadora es conectada directamente con las mediciones del proceso (sensores) y otros tipos de dispositivos indicadores, los cuales indican el estado de operación del proceso. La computadora usa los datos de las mediciones para determinar el estado actual del proceso. Habiendo determinado el estado actual, esta información la información es evaluada usando un modelo del proceso, lo cual es utilizado para determinar en que intervalo debe operarse para lograr los mejores resultados. Estas condiciones calculadas son revisadas para su viabilidad, y si no se viola alguna restricción del proceso las señales son transmitidas de regreso al proceso vía el conjunto de las ecuaciones de control. La computadora es capaz de desarrollar esos cálculos complejos, evaluar las alternativas, seleccionar una estrategia de control, e implementar acciones de control en cosa de unos segundos. Así la computadora está esencialmente desarrollando el control en tiempo real, esto es, se está evaluando las operaciones de proceso y tomando acciones de control dentro de un intervalo de tiempo apropiado.

Cuando los primeros sistemas de control de procesos fueron instalados la interface fue creada con instrumentación analógica convencional, no importando si eran neumáticas o electrónicas. Estos primeros sistemas no eran muy poderosos ni rápidos y no desarrollaban rápidamente las funciones de regulación, por lo tanto, esta función permanecía en el controlador analógico.

Debido al alto costo de la implementación de un sistema de control de proceso, éste tiene que ser seleccionado muy cuidadosamente por un estudio de factibilidad. Notar que una computadora supervisora no es necesaria para la operación de la planta. Se puede justificar cuando se identifica él o los beneficios con la instalación de la misma.

La mayor ventaja por el uso de una computadora supervisora es que todos los datos de las mediciones del proceso están disponibles en un sólo dispositivo y que cálculos sofisticados pueden ser programados y ejecutados en el tiempo y con la frecuencia que se requiera. Adicionalmente, diseños de control multivariable pueden ser formulados fácilmente.

Un beneficio colateral de la aplicación de una computadora supervisora es la capacidad de guardar grandes cantidades de datos de operación para análisis ingenieriles, esto es, usar la computadora como un almacenador de datos.

El concepto de aplicación para una computadora supervisora ha cambiado considerablemente a través de los años. Los ingenieros se familiarizan cada vez más con las capacidades de las computadoras, más y mejores aplicaciones son posibles.

1.7 SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL DIRECTO.

El término de control digital directo (DDC) fue introducido en los años 60, el concepto básico es usar una computadora digital para reemplazar y desarrollar la función de controladores analógicos. El alto costo de estas computadoras hizo necesario que las DDC fueran capaces de reemplazar varios y distintos controladores analógicos, esto para que hubiera una compensación económica.

Los argumentos de fuerza para el uso de computadoras DDC son:

- Mayor precisión en el ajuste de los controladores

- Que no existan controladores operando fuera de los objetivos establecidos

- Pantalla centralizada y ajuste de los parámetros del controlador

Facilidad para la modificación de la configuración

Facilidad para instalar la interface de operación a la computadora supervisora

Uso de algoritmos de control avanzados

Mientras que estos argumentos son válidos para el uso de un sistema DDC, existe un defecto muy serio para centralizar varios controladores en un instrumento común, si la computadora DDC no funciona por consecuencia de una falla en el equipo, crea un caos para el operador por que algunos de los lazos de control fallan al mismo tiempo. Esta es la razón principal de la pobre aceptación de las primeras computadoras DDC. Para contrarrestar esta deficiencia son instalados controladores analógicos de respaldo o computadoras de respaldo, pero esto incrementa el costo de instalación haciéndolos poco atractivos.

Existen otros defectos de las primeras computadoras DDC, uno es la limitación de los dispositivos de comunicación del operador y otro es la dificultad de encontrar software de mantenimiento. Además, si bien los algoritmos de control avanzados pueden ser implementados en las computadoras DDC, muchos lazos en éstas usan simplemente la forma digital del algoritmo de control (PID) proporcional-integral-derivativo. El desempeño de los sistemas DDC, aunque estén funcionando, no son muy superiores a los sistemas de control analógico.

1.8 MODERNOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDOS E INTEGRADOS.

El bajo costo de las microcomputadoras y los dispositivos de comunicación de los años 70⁽⁶⁾, hicieron posible que las compañías de control e instrumentación desarrollaran sistemas de control digital distribuidos. El primer sistema de control distribuido fue anunciado a mitad de los años 70, desde entonces han sido introducidos al mercado nuevos sistemas. Los sistemas de control digital distribuido son ahora instalados en la mayoría de las plantas de proceso nuevas.

1.9 CONTROLADORES DIGITALES.

Los microprocesadores son la estructura básica para el controlador digital. El concepto de diseño es básicamente el uso de un microcomputador para reemplazar funcionalmente uno o varios de los controladores convencionales, dispositivos de cómputo, interruptores, etc. Los algoritmos de control generalmente son preprogramados en bloques ligables que los usuarios pueden configurar en un lazo de control eslabonados para cumplir la estrategia deseada.

1.10 CONSOLA DEL OPERADOR.

Así como los cuartos de control han sido sofisticados y el equipo computacional de control minimizado se han construido cuartos de control sencillos asociados con una área de proceso en particular, los cuales incluyen paneles gráficos que representan equipos o son asociados a corrientes de proceso.

El monitor indicador es un dispositivo de gran ayuda para el operador ya que elimina muchas dificultades asociadas con el panel de control convencional.

Entre sus ventajas podemos citar:

La primera y más importante. El monitor indicador presenta información de todo el proceso al operador, no sólo datos, éstas pueden ser medidas del desempeño del proceso tales como conversión, producción, factores de beneficio, etc.

Segunda. Una pantalla sencilla o varias pantallas pueden presentar información de algunas áreas del proceso, en respuesta al oprimir una tecla, evitando recorrer grandes distancias para determinar el estado de una área en particular.

Tercera. Una pantalla puede ser usada para mostrar la condición actual de una corriente o una variable o un número de variables de proceso pueden ser

llamadas para mostrar sus datos en una escala de tiempo exacta. Datos de proceso con tiempos de referencia exactos pueden ser almacenados fácil y sin alto costo en discos magnéticos para referencias futuras.

Finalmente las pantallas ofrecen indicadores gráficos, los cuales pueden agregar nuevas mediciones o datos, esto si el proceso lo requiere. La información del proceso puede obtenerse por estos cuatro tipos de monitores indicadores.

Graficadores analógicos: La representación analógica de las variables es relativa a los valores deseados, esta forma de mostrar datos es usada cuando se revisa una área grande del proceso y se quieren examinar desviaciones del valor deseado de cada lazo. Este mostrador comprende un grupo de barras verticales, cada una representa una entrada analógica, -típicamente de 8-16 son asociadas a una pequeña área de proceso- las barras tienen un código de colores y cuando la desviación excede un límite parte de la barra ó toda la barra cambia de color indicando la severidad de la desviación. La barra normalmente es verde, si cambia a amarilla indica una alarma de bajo nivel y cuando cambia a roja indica una alarma de emergencia requiriendo la atención inmediata del operador.

Indicadores numéricos: Muy frecuentemente el indicador es compuesto de datos numéricos intermezclados con nombres y unidades ingenieriles, usualmente, distintas carátulas son agrupadas a un mostrador numérico que representan una pequeña área del proceso.

La información en estas carátulas puede incluir:

Nombre del punto, grupo, lazo, o instrumento.

Descriptor del punto, lazo o instrumento.

Medida numérica y gráfica de un punto analógico o lazo.

Estado de contacto con un punto digital o grupo.

Comando actual o dispositivo digital.

Alarmas con código de colores para estados de un punto, lazo, grupo.

o dispositivo.

Blanco para no alarmar.

Amarillo para alarma no crítica.

Roja para alarma crítica.

Estado de control (automático o manual) de un lazo.

Estado (cerrado o abierto) de un lazo.

Estado operacional de un dispositivo.

La carátula del indicador permite al operador ver las acciones de control que se requieren. El operador puede desempeñar las acciones de control y observar sus efectos. Las acciones de control que pueden realizarse en la carátula de mostrador son:

Admisión de alarmas.

Modificaciones numéricas del punto fijo de un lazo.

Modificaciones numéricas de la salida de un lazo.

Modificaciones del estado del lazo de control.

Modificaciones del estado del lazo cascada.

Indicadores gráficos: Son una de las más importantes características de la consola, éstos no sólo representan el equipo de proceso como un diagrama de flujo, además, la pantalla puede incluir datos instantáneos del proceso, presentando las variables del proceso con sus valores corrientes, puntos fijos del controlador y el estado del equipo (válvulas abiertas o cerradas, motores funcionando o parados), además de tener la capacidad de mostrar datos calculados. El operador puede cambiar puntos fijos, límites, estado de lazo (automático, manual, cascada) y el estado del equipo (abierto/cerrado, encendido/apagado, etc.).

Instrucciones en texto: Es conveniente proveer al operador de instrucciones de emergencia cuando se ponga en funcionamiento una alarma de paro o para simples instrucciones de una secuencia del tipo arranque/paro. Estas

instrucciones particulares pueden ser mostradas automáticamente para resolver una situación particular.

Teclado: Todos los comandos, instrucciones y requerimientos deben ser introducidos vía el teclado o un instrumento funcional equivalente. La evolución del teclado a tomado diferentes caminos, sin embargo, la primer meta del diseño de otras alternativas es la de incrementar la seguridad del sistema eliminando entradas erróneas además de recibir e introducir información rápidamente. Esto se ha logrado incrementando el uso de botones funcionales.

Pantallas sensibles al tacto: Estas pantallas son usadas en conjunción con teclados de entrada de datos, ésto es aprovechado para minimizar el tiempo de acceso del operador a la información del proceso. Tocando una parte de la pantalla se llama una área específica del proceso y también son mostradas tablas con los valores de los datos de operación, variables del proceso, estado del controlador, estado de los equipos o bien se puede mostrar una simulación de la carátula del controlador, a la cual el operador puede modificar los parámetros usando áreas de la pantalla asociadas al cambio que quiere realizar.

Unidad de almacenamiento/recuperación de datos: La función del sistema de almacenamiento es poder verificar, comparar y realizar informes con los datos del proceso. El diseño del sistema de control distribuido incluye uno o dos discos duros que permiten almacenar la información, la operación de esta actividad es automática.

1.11 ESLABONAMIENTO DE DATOS.

Canales seriales de comunicación de datos, usualmente redundantes, son usados para transferir información entre los controladores digitales y la consola del operador. Frecuentemente esos canales son diseñados para facilitar las comunicaciones con algunos controladores.

1.12 COMPUTADORA SUPERVISORA.

La computadora supervisora generalmente es considerada por los usuarios como un equipo opcional porque no es necesaria para lograr el control básico de una planta. Una computadora supervisora puede ser la interfase para el sistema de control digital distribuido utilizando el mismo canal de comunicaciones que conecta a la consola del operador con los controladores digitales. El costo requerido para lograr esta conexión es menor que el costo requerido para lograr una interfase en los sistemas de instrumentación convencional. Existen algunos paquetes en software de control supervisor estándar, los cuales reducen el costo de programación. La mayoría de los sistemas de control digital distribuido son fácilmente integrados en una computadora supervisora.

Ventajas de la implementación de sistemas de control distribuido.

Existen varias ventajas por el uso de un sistema de control distribuido comparado con el uso de un sistema de control analógico, estas ventajas pueden ser bajo costo de instalación, desempeño superior, gran rentabilidad y flexibilidad. Los sistemas de control distribuido han sido instalados en prácticamente todas las plantas nuevas, construidas desde 1980. Algunas plantas existentes que tienen sistemas de control convencional han sido instrumentadas con sistemas de control distribuido.

El concepto de diseño para implementar sistemas de control distribuido para una planta de proceso nueva es seguir prácticamente los mismos pasos para implementar los sistemas de control analógico. Esto se debe a que las tecnologías proceso están representadas por los sistemas de control analógico. Esta es una forma de implementar fácil y rápido sistemas de control distribuido y puede ser considerada la forma correcta, por que no se puede desarrollar un nuevo concepto de control mientras la planta ésta siendo construida. Sin embargo un sistema de control distribuido con una computadora supervisora puede ser

utilizado para realizar funciones de control avanzadas las cuales generaran beneficios significativos. Es de extrema importancia para la operación de la planta que las funciones de control avanzadas sean identificadas y desarrolladas después de que la planta sea construida. Un sistema de control distribuido para una planta nueva o para reemplazar un sistema de control de una planta existente puede ser diseñado para permitir la implementación sencilla de funciones de control avanzadas. De otra forma el costo de implementar éstas podría ser excesivamente caro y podrían nunca ser implementadas.

Notar que la pericia requerida para el diseño y la implementación de sistemas de control convencional reside frecuentemente en los ingenieros de instrumentos, los cuales no necesariamente son expertos en el diseño de estrategias de control avanzadas. Ingenieros de proceso con conocimiento en instrumentación, computadoras y operación de plantas son necesarios para esta tarea. La siguiente sección explica el concepto de controlar el desempeño de una planta y los beneficios básicos de lograr este fin.

El concepto de sistemas de control integrados fueron desarrollados a mitad de los años 80. El objetivo fundamental de un sistema integrado es mostrar en una base de datos común todos los departamentos concernientes de una planta, en la cual toda la información y los sistemas de control pueden estar integrados juntos.

Un buen ejemplo de un sistema integrado, con un alcance limitado, es la integración de una computadora de análisis de laboratorio y una computadora supervisora; este sistema permite que los resultados del análisis de laboratorio sirvan para revisar los analizadores de línea y el control de calidad del producto.

Existen varias arquitecturas para sistemas integrados, pero las ventajas tecnológicas que hacen que este tipo de sistemas sean deseables son la disponibilidad de sistemas de comunicación digital de alta velocidad, su bajo costo y el alto desempeño de las microcomputadoras.

Un buen diseño de sistemas integrados ofrece dos grandes ventajas sobre los relativamente viejos sistemas de control distribuido. Esto son el eslabonamiento

de diferentes computadoras usando directores de tráfico estándar y el poder usar múltiples computadoras para reemplazar una sola computadora supervisora. Lo que se conoce como director de tráfico es, usualmente, una microcomputadora especialmente diseñada para una interfase entre dos diferentes tipos computadoras, así los usuarios no necesitan desarrollar softwares especiales de comunicación. El propósito de distribuir las funciones de una computadora central supervisora es para simplificar el diseño del software y proveer al sistema de rentabilidad, flexibilidad y velocidad.

2 DESCRIPCION Y ANALISIS DE LA OPERACION Y EL CONTROL ACTUAL DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

El título de la práctica que se realiza en el tren de cambiadores de calor es:

"Efectos de operación en intercambiadores de calor de un paso con flujos en contracorriente y en paralelo".

El objetivo de la práctica es:

Evaluar el efecto de las diferentes formas de operación del tren de cambiadores de calor bajo diferentes condiciones de proceso, a través de los conceptos básicos que lo caracterizan MLTD, Intervalo y Acercamiento.

El sistema de tren de cambiadores de calor consta de tres intercambiadores dos de ellos de coraza y tubos (EA-101 y EA-103) y uno de doble tubo (EA-102).

El cambiador (EA-101) consta de suministro de agua de la red general y de vapor de baja presión, el agua que sale de EA-101 se usa como fluido caliente en los cambiadores (EA-102 y EA-103).

Los cambiadores (EA-102 y EA-103) pueden operarse de las siguientes maneras:

- 1) Individualmente: para operar en flujo paralelo o en flujo a contracorriente.
- 2) Conjuntamente: para operar en serie o en paralelo.

Este sistema permite operar simultáneamente un módulo de transferencia de calor de doble tubo y uno de coraza y tubos en donde la operación y el control del sistema es el siguiente:

2.1 TECNICA DE OPERACION Y CONTROL ACTUAL DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

-Alinear el módulo de manera que las bombas alimenten agua fría a los cambiadores de calor EA-101, EA-102 Y EA-103.

-Alinear la corriente de vapor para que se pueda alimentar de éste el cambiador de calor EA-101 (y caliente el agua que circula en él).

-Alinear la salida del cambiador de calor EA-101 con la entrada a los cambiadores de calor EA-102 Y EA-103 para que estos operen en serie o en paralelo.

Seleccionado el arreglo de los cambiadores se arrancan las bombas de suministro de agua al cambiador EA-101 y EA-102, se controlan los gastos de las corrientes que alimentan a estos cambiadores con las válvulas correspondientes a cada corriente.

La alimentación de vapor al cambiador EA-101 se lleva a cabo a una presión no mayor de 3 Kg/cm^2 , esta operación se realiza sólo si se ha alimentado agua fría a este mismo cambiador.

La medición de los flujos de agua se realiza con rotámetros instalados en cada línea de agua; la presión de vapor se mide con un barómetro. La manipulación de las válvulas permite el control de los flujos, además se pueden variar las condiciones de operación de las siguientes formas:

-Variando la presión en el vapor de calentamiento, manteniendo todos los flujos de las corrientes constantes.

-Variando el flujo de agua caliente en EA-101 manteniendo la presión del vapor y los flujos restantes constantes.

-Variando el flujo de agua fría en EA-102 y manteniendo constante presión del vapor y los demás flujos.

-Variando simultáneamente presión del vapor y todos los flujos.

2.2 CARACTERISTICAS DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

INTERCAMBIADORES DE CORAZA Y TUBOS EA-101 Y EA-103.

	Coraza	Tubos
Longitud	0.97 m	0.97 m
Diámetro externo	0.0635 m	0.0127 m
Diámetro interno	0.05598 m	0.01021 m
Número de tubos	--	4
Número de pasos	1	1

INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO. EA-102

	Tubo	Anulo
Longitud	1.25 m	1.0 m
Diámetro interno	0.026 m	0.0435 m
Diámetro externo	0.033 m	0.05095 m

2.3 RELACION DE INSTRUMENTOS EXISTENTES EN EL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

INSTRUMENTO	IDENTIFICACION	SERVICIO
Válvula de compuerta.	HCV-9	Entrada de vapor
Válvula de globo.	HCV-8	Entrada de H ₂ O a C-1
Válvula de compuerta.	HCV-7	Entrada de H ₂ O a C-2
Válvula de compuerta.	HC-6	Entrada de H ₂ O a C-2
Válvula de compuerta.	HC-5	Entrada de H ₂ O a C-2
Válvula de compuerta.	HC-4	Entrada de H ₂ O a C-3
Válvula de compuerta.	HC-3	Entrada de H ₂ O a C-3
Válvula de compuerta.	HC-2	Salida de H ₂ O de C-3
Válvula de compuerta.	HC-1	Salida de H ₂ O de C-3
Indicador de temperatura.	TI-1	Entrada de C-1
Indicador de temperatura.	TI-2	Entrada de C-2
Indicador de temperatura.	TI-3	Entrada de C-3
Indicador de temperatura.	TI-4	Entrada de C-3
Indicador de temperatura.	TI-5	Salida de C-2
Indicador de temperatura.	TI-6	Entrada de C-3
Indicador de temperatura.	TI-7	Entrada de C-3
Indicador de temperatura.	TI-8	Salida de C-3
Indicador de presión.	PI-1	Entrada vapor a C-1

2.5 RELACION DE VALVULAS ABIERTAS Y CERRADAS PARA LOS DIFERENTES ARREGLOS DEL EQUIPO.

TABLA 1

ARREGLO (1) DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

Operación: Paralelo

Cambiador de Calor	Flujo	Válvulas	Cerradas	Abiertas
Doble Tubo	Paralelo	HV1	X	
Coraza y Tubos	Paralelo	HV2		X
		HV3		X
		HV4		X
		HV5	X	
		HV6		X

TABLA 2

ARREGLO (2) DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

Operación: Paralelo

Cambiador de Calor	Flujo	Válvulas	Cerradas	Abiertas
Doble Tubo	Paralelo	HV1		X
Coraza y Tubos	Paralelo	HV2	X	
		HV3		X
		HV4		X
		HV5		X
		HV6	X	

TABLA 3

ARREGLO (3) DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

Operación: Serie

Cambiador de Calor	Flujo	Válvulas	Cerradas	Abiertas
Doble Tubo	Paralelo	HV1		X
Coraza y Tubos	Contracorriente	HV2	X	
		HV3		X
		HV4	X	
		HV5	X	
		HV6		X

TABLA 4

ARREGLO (4) DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

Operación: Serie

Cambiador de Calor	Flujo	Válvulas	Cerradas	Abiertas
Doble Tubo	Contracorriente	HV1	X	
Coraza y Tubos	Paralelo	HV2		X
		HV3	X	
		HV4		X
		HV5		X
		HV6	X	

3 INGENIERIA BASICA.

3.1 DATOS BASICOS DE LA OPERACION DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

Para lograr los objetivos de la práctica que se realiza en el tren de cambiadores de calor, el equipo debe funcionar bajo ciertos parámetros ya establecidos. Se describen a continuación.

La presión de vapor debe estar en un intervalo de 2.5-3 kg/cm².

El flujo de agua caliente debe ser 0.117 l/s como mínimo.

El flujo de agua fría debe ser 0.168 l/s como mínimo.

Los cálculos que se realizan en la práctica del tren de cambiadores de calor son los siguientes:

Cálculo del calor cedido.

Cálculo del calor ganado.

Cálculo del calor perdido.

Cálculo del intervalo Frío $= (t_2 - t_1)$; Caliente $= (T_1 - T_2)$

Cálculo del Acercamiento $= (T_1 - t_2)$ o $(T_2 - t_1)$

Cálculo de la LMTD $= (T_1 - t_2) - (T_2 - t_1) / \ln (T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)$

3.1.1 Temperaturas de operación de los cambiadores EA-102 Y EA-103.

Flujos de operación :Fluido caliente:0.117 l/s

Fluido frío:0.168 l/s

Cambiador EA-102 operado con flujo a contracorriente.

Temperatura (°C)

Entrada Salida

Fluido caliente 62.12 55.05

Cambiador EA-102 operado con flujo en paralelo.

	Temperatura (°C)	
	Entrada	Salida
Fluido caliente	63.87	52.42
Fluido frío	20.00	25.37

Cambiador EA-103 operado con flujo en paralelo.

	Temperatura (°C)	
	Entrada	Salida
Fluido caliente	58.78	50.05
Fluido frío	25.75	27.50

Cambiador EA-103 operado con flujo a contracorriente.

	Temperatura (°C)	
	Entrada	Salida
Fluido caliente	53.42	50.00
Fluido frío	24.25	26.50

Los datos de la operación del equipo son un promedio de tres prácticas realizadas con los mismos flujos, tanto de agua como de vapor. Esto permite tener un mejor acercamiento de las condiciones de operación y servirá mejor para la elaboración del programa de simulación.

3.2 MODELO MATEMATICO DEL TREN DE CAMBIADORES DE CALOR.

Con fin de simplificar el problema de crear un modelo matemático que represente el comportamiento de un tren de cambiadores de calor, dividiremos este mismo en sus tres partes y obtendremos modelos matemáticos individuales los cuales tendrán una secuencia en las temperaturas de entrada y salida de los cambiadores de calor.

Consideremos un cambiador de calor de coraza y tubos; un líquido fluye a través del interior del tubo y es calentado por el vapor que fluye a contracorriente alrededor del tubo, el vapor cede al agua calor latente, con lo cual se registran cambios de temperatura a lo largo de la dirección axial del tubo, desde T_1 a la entrada hasta T_2 a la salida en un intervalo de tiempo ΔT .

Nosotros asumiremos que no se presentan cambios de temperatura en dirección radial del tubo.

Consecuentemente nosotros tenemos una variable independiente, el tiempo; la variable del sistema que nos interesa es la temperatura del líquido que se desea calentar. Por lo tanto nosotros necesitamos un balance de energía y de masa para caracterizar la temperatura.

CAMBIADOR C-1.

Corriente 1

BALANCE DE MASA (líquido).

El líquido fluye dentro de los tubos y no hay acumulación, de esta manera el

Balace de masa queda como:

$$F_{1E} = C v_1 F(x)_1 \sqrt{(\Delta P_v / g_e)} = F_{1S}$$

BALANCE DE ENERGIA (líquido).

$$\rho_1 C_p V_1 [dT/dt] = \rho_1 F_1 C_p (T_E - T_1) + Q_{\text{transf.}}$$

Sustituyendo Q_{transf} por esta ecuación: $Q = A U \text{MLDT}$ se tiene.

$$\rho_1 C_p V_1 [dT/dt] = \rho_1 F_1 C_p (T_E - T_1) + A_1 U_1 \text{MLDT}_1$$

Donde $\text{MLDT}_1 = (\Delta t_2 - \Delta t_1) / \ln(\Delta t_2 / \Delta t_1)$

$$\Delta t_2 = T_V - T_E; \Delta t_1 = T_V - T_1$$

MLDT_1 = Diferencia Media Logarítmica de Temperatura para un cambiador con cambio de fase.

Corriente 2.

BALANCE DE MASA (VAPOR).

La condensación del vapor dentro de la coraza es inherente por tal razón existe el término de acumulación para el B de M.

$$dm / dt = W - C$$

Donde $W = 11.65 \cdot C_v \cdot \sqrt{((p_1 + p_2) (p_1 - p_2))} dv$, ec. de la ISA para flujo de vapor⁽⁶⁾

$C = A U \text{MLDT} / \lambda$, ec. de Balance de energía

$m = [PVM/RT]$, ec. de gas ideal

Sustituyendo

$$VM/RT dP/dt = 11.65 \cdot C_v \cdot \sqrt{((p_1 + p_2) (p_1 - p_2))} dv - A U \text{MLDT} / \lambda$$

El flujo de vapor proviene de la caldera del laboratorio de ingeniería química, éste sufre pérdidas de presión en su camino desde la caldera hasta el equipo.

Las pérdidas de presión hasta antes de la válvula están fuera de nuestra responsabilidad. Nosotros nos ocuparemos sólo del ΔP provocado por la válvula, y respecto al ΔP dentro del cambiador decidimos no considerarlo por ser demasiado pequeño.

El valor del ΔP dentro del cambiador es del orden de $9.90 \cdot 10^{-2} \text{ lb/in}^2$.

Para realizar el cálculo del ΔP de la coraza del cambiador de calor se utilizó la ecuación de Fanning.

$$\Delta P = 1/2 (FG^2 D_s (N+1) / 5.22 \cdot 10^{-10} D_s S)^{(1)}$$

Donde $F = 0.0035 + 0.264 / (D_s G / \mu)^{(1)}$, ec. de Fanning para factor de fricción

$$G = W/a_s$$

BALANCE DE ENERGIA (Vapor).

Considerando que el vapor cede al agua calor latente y que no hay pérdidas de calor se tiene:

$$Q = C\lambda$$

$$Q = A_2 U_1 MLDT_1$$

Sustituyendo

$$C\lambda = A_2 U_1 MLDT_1$$

CAMBIADOR C-2.

El análisis del modelo para este cambiador es similar al ya encontrado para el cambiador C-1; pero en este caso no existe acumulación de materia dentro del cambiador.

Con objeto de presentar en el modelo matemático las tres formas de MLDT que usamos al operar el equipo, desarrollaremos las ecuaciones pensando en el arreglo 3 del equipo, es decir, operando C-2 con flujos en paralelo y C-3 con flujos en contracorriente.

Corriente 1 (Agua Fría).

BALANCE DE MASA.

$$F_{2E} = C v_2 F(x)_2 \sqrt{(\Delta P_v / g_e)} = F_{2S}$$

BALANCE DE ENERGIA.

$$\rho_2 C p_2 V_2 [dT/dt] = \rho_2 F_2 C p_2 (t_E - t_1) + Q_{\text{transf.}}$$

Sustituyendo Q_{transf} por esta ecuación: $Q = A U \text{MLDT}$ se tiene.

$$\rho_2 C_{p2} V_2 [dT/dt] = \rho_2 F_2 C_{p2} (t_E - t_1) + A_3 U_2 \text{MLDT}_2$$

Donde $\text{MLDT}_2 = (\Delta t_2 - \Delta t_1) / \text{Ln}(\Delta t_2 / \Delta t_1)$

$$\Delta t_2 = T_1 - t_e; \Delta t_1 = T_2 - t_1$$

MLDT_2 = Diferencia Media Logarítmica de Temperatura para un cambiador con flujos en paralelo.

Corriente 2 (Agua Caliente).

BALANCE DE MASA.

$$F_{1E} = C v_1 F(x)_1 \sqrt{(\Delta P / g_e)} = F_{1S}$$

BALANCE DE ENERGIA.

$$\rho_3 C_{p3} V_3 [dT/dt] = \rho_3 F_1 C_{p3} (T_1 - T_2) + Q_{\text{transf}}$$

Sustituyendo Q_{transf} por esta ecuación: $Q = A U \text{MLDT}$ se tiene.

$$\rho_3 C_{p3} V_3 [dT/dt] = \rho_3 F_1 C_{p3} (T_1 - T_2) + A_4 U_3 \text{MLDT}_2$$

Donde $\text{MLDT}_2 = (\Delta t_2 - \Delta t_1) / \text{Ln}(\Delta t_2 / \Delta t_1)$

$$\Delta t_2 = T_1 - t_e; \Delta t_1 = T_2 - t_1$$

MLDT_2 = Diferencia Media Logarítmica de Temperatura para un cambiador con flujos en paralelo.

CAMBIADOR C-3.

Corriente 1 (Agua Fría).

BALANCE DE MASA.

$$F_{2E} = C v_2 F(x)_2 \sqrt{(\Delta P / g_e)} = F_{2S}$$

BALANCE DE ENERGIA.

$$\rho_4 C_{p4} V_4 [dT/dt] = \rho_4 F_2 C_{p4} (t_1 - t_2) + Q_{\text{transf.}}$$

Sustituyendo Q_{transf} por esta ecuación: $Q = A U \text{MLDT}$ se tiene.

$$\rho_4 C_{p4} V_4 [dT/dt] = \rho_4 F_2 C_{p4} (t_1 - t_2) + A_5 U_3 \text{MLDT}_3$$

Donde $\text{MLDT}_3 = (\Delta t_2 - \Delta t_1) / \text{Ln}(\Delta t_2 / \Delta t_1)$

$$\Delta t_2 = T_3 - t_1; \Delta t_1 = T_2 - t_2$$

MLDT_3 = Diferencia Media Logarítmica de Temperatura para un cambiador con flujos a contracorriente.

Corriente 2 (Agua Caliente).

BALANCE DE MASA.

$$F_{1E} = C v_1 F(x)_1 \sqrt{(\Delta P / g_e)} = F_{1S}$$

BALANCE DE ENERGIA.

$$\rho_5 C_{p5} V_5 [dT/dt] = \rho_5 F_1 C_{p5} (T_2 - T_3) + Q_{\text{transf.}}$$

Sustituyendo Q_{transf} por esta ecuación: $Q = A U \text{MLDT}$ se tiene.

$$\rho_5 C_{p5} V_5 [dT/dt] = \rho_5 F_1 C_{p5} (T_2 - T_3) + A_6 U_3 \text{MLDT}_3$$

Donde $\text{MLDT}_3 = (\Delta t_2 - \Delta t_1) / \text{Ln}(\Delta t_2 / \Delta t_1)$

$$\Delta t_2 = T_3 - t_1; \Delta t_1 = T_2 - t_2$$

MLDT_3 = Diferencia Media Logarítmica de Temperatura para un cambiador con flujos a contracorriente.

3.2.1 DISEÑO DE LAS VALVULAS DE CONTROL DE FLUJO DE AGUA.

Ecuación de flujo de agua fría.

$$F_{2E} = C_{v2} F(x)_2 \sqrt{(\Delta P_v / g_e)}$$

$$\text{Donde } C_v = \sqrt{\left(\left(\frac{F_{\max}}{F_{\text{dis}}} \right)^2 \left(\frac{F_{\text{dis}}}{F_{X_{\text{dis}}}} \right)^{1/2} \right) / \left(2 \Delta P_{\text{dis}} \left(\frac{F_{\max}}{F_{\text{dis}}} \right)^2 \right)^{(2)}}$$

$$\text{Donde } F_{\max} = 8.863 \text{ gpm}$$

$$F_{\text{dis}} = 2.21 \text{ gpm}$$

$$F_{X_{\text{dis}}} = 0.25$$

$$\Delta P_{\text{dis}2} = 6 \text{ psi}$$

$$C_{v2} = 0.2701$$

Para calcular ΔP de diseño se usarán las siguientes ecuaciones

$$\text{Para C-2 } \Delta P_{\text{anulo}} = F G_s^2 D_s (N+1) / 5.22 * 10^{-10} D_e S$$

$$\text{Para C-3 } \Delta P_{\text{coraza}} = F G_s^2 D_s (N+1) / 5.22 * 10^{-10} D_e S$$

$$\Delta P_{\text{dis}} = \Delta P_{\text{anulo C-2}} + \Delta P_{\text{coraza C-3}}$$

Ecuación de flujo de agua caliente.

$$F_{1E} = C_{v1} F(x)_1 \sqrt{(\Delta P_v / g_e)}$$

$$\text{Donde } C_v = \sqrt{\left(\left(\frac{F_{\max}}{F_{\text{dis}}} \right)^2 \left(\frac{F_{\text{dis}}}{F_{X_{\text{dis}}}} \right)^{1/2} \right) / \left(2 \Delta P_{\text{dis}} \left(\frac{F_{\max}}{F_{\text{dis}}} \right)^2 \right)^{(2)}}$$

$$\text{Donde } F_{\max} = 12.7272 \text{ gpm}$$

$$F_{\text{dis}} = 3.1818 \text{ gpm}$$

$$F_{X_{\text{dis}}} = 0.25$$

$$\Delta P_{\text{dis}1} = 19 \text{ psi}$$

$$C_{v1} = 0.3879793$$

Para calcular ΔP de diseño se usarán las siguientes ecuaciones

$$\Delta P_{\text{tubos de C-1}} = F G_s^2 D_s L N / 5.22 * 10^{-10} D_e S \quad \Delta P_{r \text{ C-1}} = 4 N V^2 / s 2 g$$

$$\Delta P_{\text{tubos de C-2}} = F G_s^2 D_s L N / 5.22 * 10^{-10} D_e S \quad \Delta P_{r \text{ C-2}} = 4 N V^2 / s 2 g$$

$$\Delta P_{\text{tubos de C-3}} = F G_s^2 D_s L N / 5.22 * 10^{-10} D_e S \quad \Delta P_{r \text{ C-3}} = 4 N V^2 / s 2 g$$

$$\Delta P_{\text{total}} = (\Delta P_{\text{tubos}} + \Delta P_r)_{\text{de C-1}} + (\Delta P_{\text{tubos}} + \Delta P_r)_{\text{de C-2}} + (\Delta P_{\text{tubos}} + \Delta P_r)_{\text{de C-3}}$$

3.2.2 ANALISIS DE GRADOS DE LIBERTAD.

Variables - Ecuaciones = Grado de Libertad, $17 - 14 = 3$

Variables: F_{1E} , F_{2E} , t_E , T_E , t_1 , t_2 , T_1 , T_2 , T_3 , P_1 , P_2 , P_3 , P_x , f_{x1} , f_{x2} , f_{x3} , F_{1s} , F_{2s}

T_E = Temperatura de agua de entrada a C-1; fijada por los alrededores

t_e = Temperatura de agua de entrada a C-2; fijada por los alrededores

t_1 = Temperatura de agua de salida de C-2; fijada por el balance de energía de la corriente de agua fría de C-2

t_2 = Temperatura de agua de salida de C-3; fijada por el balance de energía de la corriente de agua fría de C-3

T_1 = Temperatura de agua de salida de C-1; fijada por el balance de energía de la corriente de agua fría de C-1

T_2 = Temperatura de agua de salida de C-2; fijada por el balance de energía de la corriente de agua fría de C-2

T_3 = Temperatura de agua de salida de C-3 fijada por el balance de energía de la corriente de agua fría de C-3

P_1 = Presión de vapor antes de la válvula; fijada por la caldera del laboratorio de Ing. Química

P_2 = Presión a la salida de la válvula; fijada por la ecuación de la temperatura T_1

P_3 = Presión de vapor en el cambiador C-1; fijada por el balance de masa del vapor

$F_{1e} = F_{1s}$ = Flujo de agua que entra a C-1; fijada por la ecuación de flujo de líquidos

$F_{2e} = F_{2s}$ = Flujo de agua que entra a C-2; fijada por la ecuación de flujo de líquidos

3.2.3 LISTA DE VARIABLES DEL MODELO MATEMATICO.

$$P_1 = 4.312, P_2 = 1.033, P_3 = 1.033 \text{ (atmosferas)}$$

$$T_E = 20, T_1 = 20, T_2 = 20, t_1 = 20, t_2 = 20, T_{vi} = 0 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$W_i = 0 \text{ (Kg/s)}$$

$$C_i = 0 \text{ (Kg/s)}$$

$$P_M = 0 \text{ mA}, S_P = 12 \text{ mA}$$

$$C_O = 0 \text{ mA}, P_V = 9 \text{ psig}$$

$$F_x = 0 \text{ adim.}$$

$$P_{M1} = 0 \text{ mA}, S_{P1} = 8 \text{ mA}$$

$$C_{O1} = 0 \text{ mA}, P_{V1} = 9 \text{ psig}$$

$$F_{x1} = 0 \text{ adim.}$$

$$P_{M2} = 0 \text{ mA}, S_{P2} = 8 \text{ mA}$$

$$C_{O2} = 0 \text{ mA}, P_{V2} = 9 \text{ psig}$$

$$F_{x2} = 0 \text{ adim.}$$

$$C_{os} = 12 \text{ mA}$$

$$C_{os1} = 12 \text{ mA}$$

$$C_{os2} = 12 \text{ mA}$$

$$K_c = 20 \text{ adim.}$$

$$\rho = 0.99707, \rho_1 = 0.99324, \rho_2 = 0.99573, \rho_3 = 0.99775, \rho_4 = 0.99654 \text{ Kg/l}$$

$$C_p = 0.99775, C_{p1} = 0.99880, C_{p2} = 0.99818, C_{p3} = 0.99707, C_{p4} = 0.99755 \text{ cal/Kg }^\circ\text{C}$$

$$F_{1i} = 0, F_{2i} = 0 \text{ l/s}$$

$$V = 3.072, V_1 = 0.491499, V_2 = 1.441517, V_3 = 5.20793 \text{ l}$$

$$R = 8.2 \text{ l atm/Kg K}$$

$$M = 18 \text{ Kg/Kg mol}$$

$$C_v = 3.8250 \text{ adim.}$$

$$C_{v2} = 0.2701 \text{ adim.}$$

$$C_{v1} = 0.3879 \text{ adim.}$$

$$\Delta P_{dis2} = 6 \text{ psig}$$

$$\Delta P_{dis1} = 19 \text{ psig}$$

$$U = 24.5587, U1 = 11.2254, U2 = 3.4229 \text{ cal/s m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = 3.1559 * 10^{-3}, A1 = 1.4851 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$G = 0 \text{ (lb/h ft}^2\text{)}^2$$

$$dv = 0.0084 \text{ lb/in}^2$$

$$\mu = 0.0242 \text{ lb/s ft}$$

$$L = 2.9262 \text{ ft}$$

$$Ds = 3.8313 * 10^{-2} \text{ ft}$$

$$N = 4 \text{ adim.}$$

$$De = 0.4814 \text{ ft}$$

$$S = 1.3461 * 10^{-4} \text{ adim.}$$

$$g_e = 1 \text{ adim}$$

$$as = 4.5115 \text{ ft}^2$$

3.3 DEFINICION DE LOS OBJETIVOS DE CONTROL.

El elemento central de una configuración de control es el proceso que nosotros queremos controlar. La primera pregunta de realce para el diseñador de control es: ¿Cuáles son los objetivos operacionales que se pueden conseguir con los sistemas de control?.

La respuesta a esa pregunta determina los objetivos de control, éstos pueden ser los que permitan realizar:

- Asegurar la estabilidad del proceso, o
- Suprimir la influencia de perturbaciones externas, o
- Optimizar el desempeño operacional de una planta, o
- Flexibilidad en la estructura del proceso.

En este trabajo se desea conseguir flexibilidad en la estructura del proceso para poder cumplir con los objetivos de la práctica; es decir, el sistema de control debe permitir operar al equipo en todas sus posibles alineaciones. Adicionalmente el implementar instrumentación para modificar y monitorear la operación del equipo permite el estudio del sistema ya que se cuenta con datos reales de operación.

Una ventaja importante de un sistema de control distribuido es que se puede diseñar el sistema para responder a las necesidades de tipo económico y de mercado. Es decir, la línea de producción puede modificarse para obtener productos diferentes o productos con calidad diferente. La industria farmacéutica cambia sus procesos para producir diferentes medicamentos según las necesidades del mercado.

Los objetivos de control del tren de cambiadores de calor son mantener los flujos de agua y la temperatura del agua a la salida del cambiador EA-101 en ciertos valores. Para lograr esto se diseñarán tres circuitos de control, uno para controlar el flujo de vapor y dos más para controlar los flujos de agua. Este sistema permitirá cumplir con los objetivos operacionales impuestos por la técnica de operación; ya que se podrán variar las condiciones de operación con cambios en los valores de los puntos de ajuste de las válvulas de control. De

esta manera el sistema permite variar la presión del vapor manteniendo los flujos de agua constantes o variar alguno de los flujos de agua manteniendo el otro constante y también el flujo de vapor constante o bien se pueden variar simultáneamente el flujo de vapor y los flujos de agua.

Más adelante propondremos nuestros objetivos de control en términos de variables de salida. Para entender mejor este concepto haremos una clasificación de las variables de un proceso químico.

3.3.1 CLASIFICACION DE VARIABLES EN UN PROCESO QUÍMICO.

Cualquiera que sea el objetivo de control nosotros necesitamos hacer algunas mediciones de las variables del proceso como temperaturas, presiones, concentraciones y flujos.

Estas variables son divididas en dos grupos:

1. Variables de Entrada, que denotan el efecto de los alrededores en el proceso químico.

2. Variables de Salida, que denotan el efecto del proceso químico a los alrededores.

Las variables de entrada pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:

1. Variables Manipulables (o ajustables), estos valores pueden ser ajustados por un operador o un sistema de control.

2. Perturbaciones, estos valores no son resultado de un ajuste por un operador o un sistema de control.

Las variables de salida son clasificadas también en las siguientes categorías:

1. Variables de Salida Medibles, estos valores son conocidos por medición directa de las mismas.

2. Variables de Salida no-Medibles, estos valores no pueden ser medidos directamente.

Para nuestro caso las variables de salida analizadas para definir los objetivos de control son:

Las temperaturas de salida de los cambiadores de calor y la presión de vapor a la entrada del cambiador de calor EA-101.

La segunda pregunta de realce para el diseñador de control es: ¿De que tipo son las variables que controlan el desempeño operacional de una planta?

Es evidente que nosotros queremos monitorear directamente las variables que representan nuestros objetivos de control. Si esto es posible, estas mediciones son llamadas mediciones primarias. En algunos casos pasa que nuestros objetivos de control no pueden ser medidos directamente. En tales casos nosotros debemos medir otras variables que pueden ser medidas con facilidad y repetibilidad, estas mediciones son llamadas medidas secundarias, existen vínculos matemáticos que nos permiten relacionar estas medidas secundarias con las variables no medibles.

Un ejemplo clásico de estas variables no medibles es el que se presenta en una torre de destilación donde se usan medidas secundarias (presión y temperatura) para conocer, apoyados con un vínculo matemático, la composición del destilado, fondo y platos intermedios.

En nuestro caso las variables que representan nuestros objetivos de control son de primer orden, es decir, las temperaturas del agua a la salida de los cambiadores de calor y la presión del vapor.

3.3.2 SELECCION DE VARIABLES MANIPULABLES.

Puesto que los objetivos de control han sido especificados e identificadas las mediciones a monitorear. La tercera pregunta de realce para el diseñador de control es: ¿Cuáles son las variables a manipular?

Usualmente en un proceso nosotros tenemos un número de variables de entrada disponibles, el cual podemos ajustar libremente, la pregunta en cuestión es crucial porque una vez que seleccionamos la variable manipulable tal elección afectará la calidad de las acciones de control que se tomen.

En nuestro caso las variables manipulables son los flujos de agua de entrada a los cambiadores de calor EA-101 y EA-102, y el flujo de vapor que entra a EA-101.

3.4 DEFINICION DE LIMITES, ALARMAS y PUNTOS DE AJUSTE.

Límites:

Los límites nos imponen restricciones que delimitan la región posible dentro de la cual debe ser operado el proceso.

La presión del vapor tiene como límite 3 kg/cm^2 .

La bomba GA-01 debe proporcionar un flujo dentro de un intervalo de 0.117-0.468 l/s.

La bomba GA-02 tiene como límite un flujo dentro de un intervalo de 0.168-0.672 l/s.

Todos estos límites son impuestos por el sistema de control.

Alarmas:

Las alarmas son diseñadas para que el operador se entere, si es necesario, de cualquier evento que se presente en el proceso. Estos pueden ser una falla en algún dispositivo, equipo o instrumento.

El diseño de alarmas para el tren de cambiadores de calor será realizado posteriormente a consideración del personal que maneje el equipo.

Puntos de ajuste:

El análisis de grados de libertad nos permite definir los puntos de ajuste de las variables manipulables de los tres circuitos de control diseñados para cumplir con los objetivos de control. De esta manera los valores de los puntos de ajuste son:

Para la válvula de control de vapor $SP = 100^\circ\text{C}$

Para la válvula de control de agua caliente $SP = 0.168 \text{ l/s}$

Para la válvula de control de agua fría $SP = 0.117 \text{ l/s}$

3.5 CONFIGURACION DE CONTROL.

Después de establecer los objetivos de control, las posibles mediciones, e identificado las variables manipulables disponibles, el problema final para resolver es la definición de la configuración de control. Una configuración de

control es una estructura de información la cuál es usada para conectar las variables medibles disponibles con las variables manipulables disponibles.

La cuarta pregunta de realce para el diseñador de control es: ¿Cuál es la mejor configuración de control para un proceso químico en una situación de control dada?

La respuesta a esta pregunta es crítica por que de esto dependerá la calidad del sistema de control a diseñar. Depende de como vamos a controlar salidas y a manipular entradas que se presentan en el proceso químico. Nosotros podemos distinguir entre la configuración de control de única entrada y única salida (SISO) o múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

Para nuestro proceso en particular se tiene una configuración del tipo múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

Existen tres tipos básicos de configuración de control.

1. *Configuración de control con retroalimentación.*
2. *Configuración de control inferencial.*
3. *Configuración de control adelantado.*

La configuración de control adelantado mide las perturbaciones al sistema mientras que la configuración con retroalimentación mide las variaciones del sistema y la configuración de control inferencial usa medidas secundarias para ajustar los valores de las variables manipulables.

3.5.1 CONFIGURACIONES DE CONTROL PROPUESTAS.

Antes de describir las configuración de control propuestas establecemos que todos los circuitos de control son con retroalimentación. El alumno podrá implementar algoritmos más complejos reprogramando el controlador.

La primera configuración propuesta usa mediciones directas de las variables controlables para ajustar la variables manipulables.

El flujo de agua que va a EA-101 se controla midiendo la presión diferencial del agua con un transmisor de presión diferencial, ésta señal llega al controlador donde por medio de ecuaciones calcula el flujo; y en base a esto manipula la

válvula de control de agua. Para el flujo de agua que va a EA-102 se tiene un sistema equivalente.

En cuanto al flujo de vapor este se controla midiendo la temperatura del agua a la salida del cambiador EA-101, utilizando un termopar que transmite la señal al controlador y la compara con el punto de ajuste para mandar acciones correctivas que manipulan la válvula de control de vapor, para así controlar la temperatura, (ver diagrama de configuración de control 1).

La segunda configuración mide la presión del vapor a la salida de la válvula del control, esta señal apoyada con un vínculo matemático es relacionada con la temperatura de salida de EA-101 y por medio de esto manipula la válvula de vapor. En lo que se refiere a los flujos de agua se utilizan los mismos lazos de control de la primera configuración, (ver diagrama de configuración de control 2). Uno de los objetivos de implementar un sistema de control distribuido al tren de cambiadores de calor es el de presentar toda la información referente al proceso en un monitor. Por esta razón en todas las entradas y salidas de los cambiadores se instalarán termopares con el fin de capturar estos datos del proceso. Esto nos da la posibilidad de proponer otras dos configuraciones de control. Estas configuraciones permiten ampliar el estudio del sistema.

La tercera configuración tiene como base la primera configuración tiene los mismos circuitos de control, sólo que en vez de usar mediciones de la temperatura del agua a la salida de EA-101 utiliza mediciones de la temperatura a la salida de EA-102, (ver diagrama de configuración de control 3).

La cuarta configuración es lo mismo sólo que utiliza mediciones de la temperatura del agua a la salida de EA-103, (ver diagrama de configuración de control 4).

Lo importante de esto es que la práctica puede incluir: estudiar el comportamiento del sistema cuando se controla la temperatura en cualquier punto.

A continuación se presentan los diagramas de estas configuraciones de control.

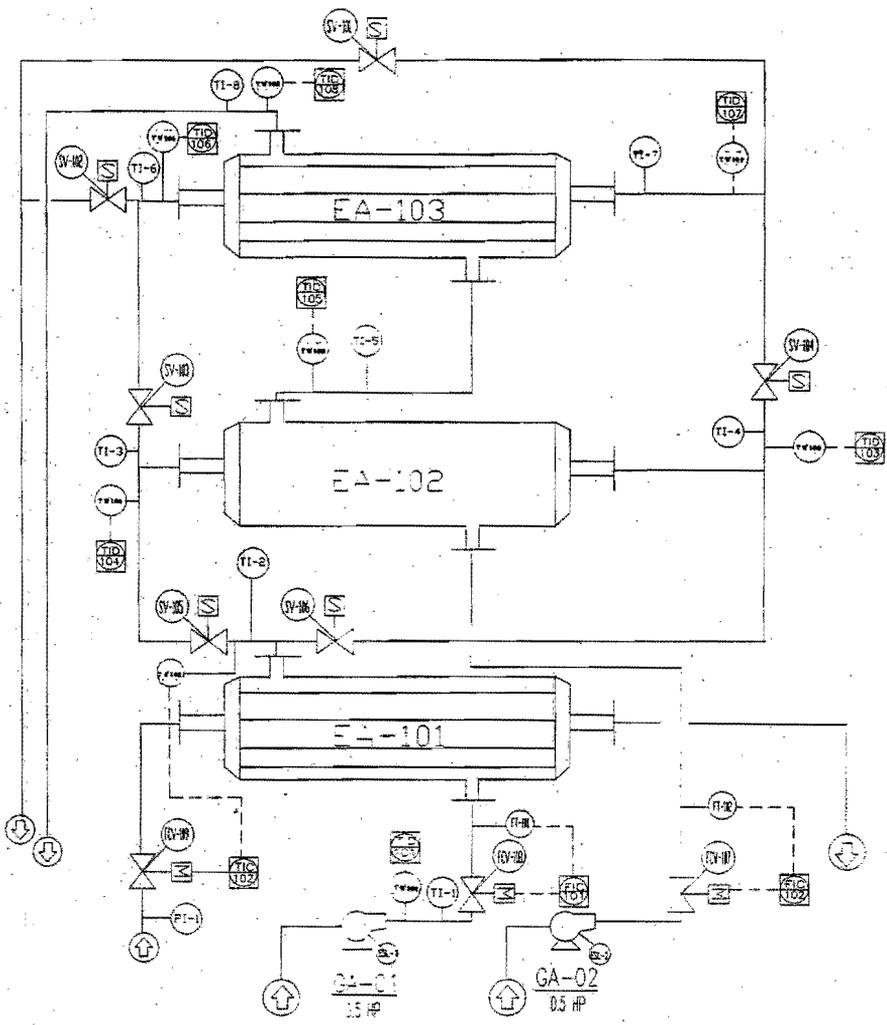


DIAGRAMA DE CONFIGURACION DE CONTROL 1

TESIS:
 PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL
 BASADO EN MICROPROCESADORES
 PARA UN TREN DE CAMBIADORES

FERNANDEZ HERNANDEZ F. FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

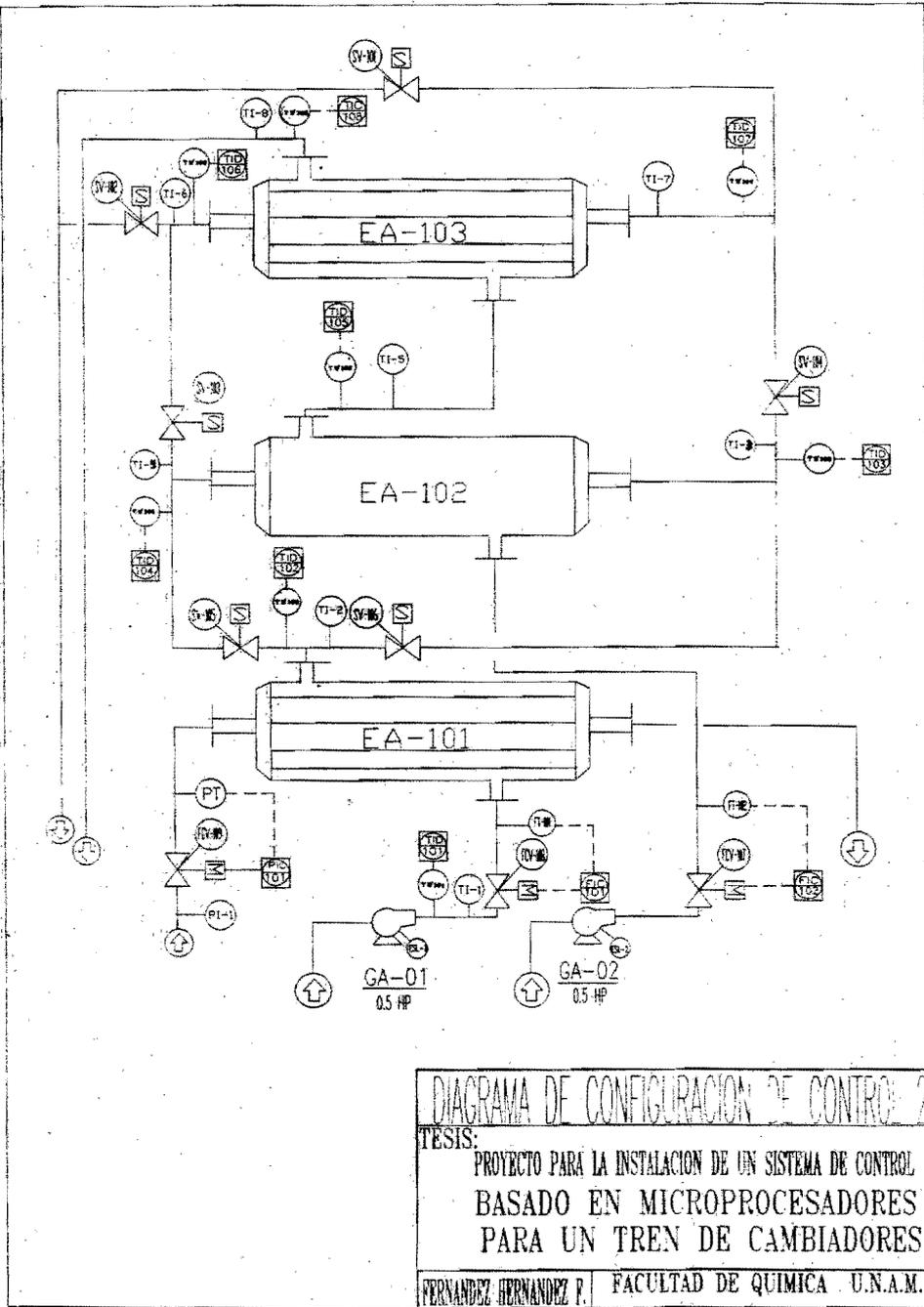


DIAGRAMA DE CONFIGURACION DE CONTROL 2
TESIS:
PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL
BASADO EN MICROPROCESADORES
PARA UN TREN DE CAMBIADORES
FERNANDEZ HERNANDEZ P. FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

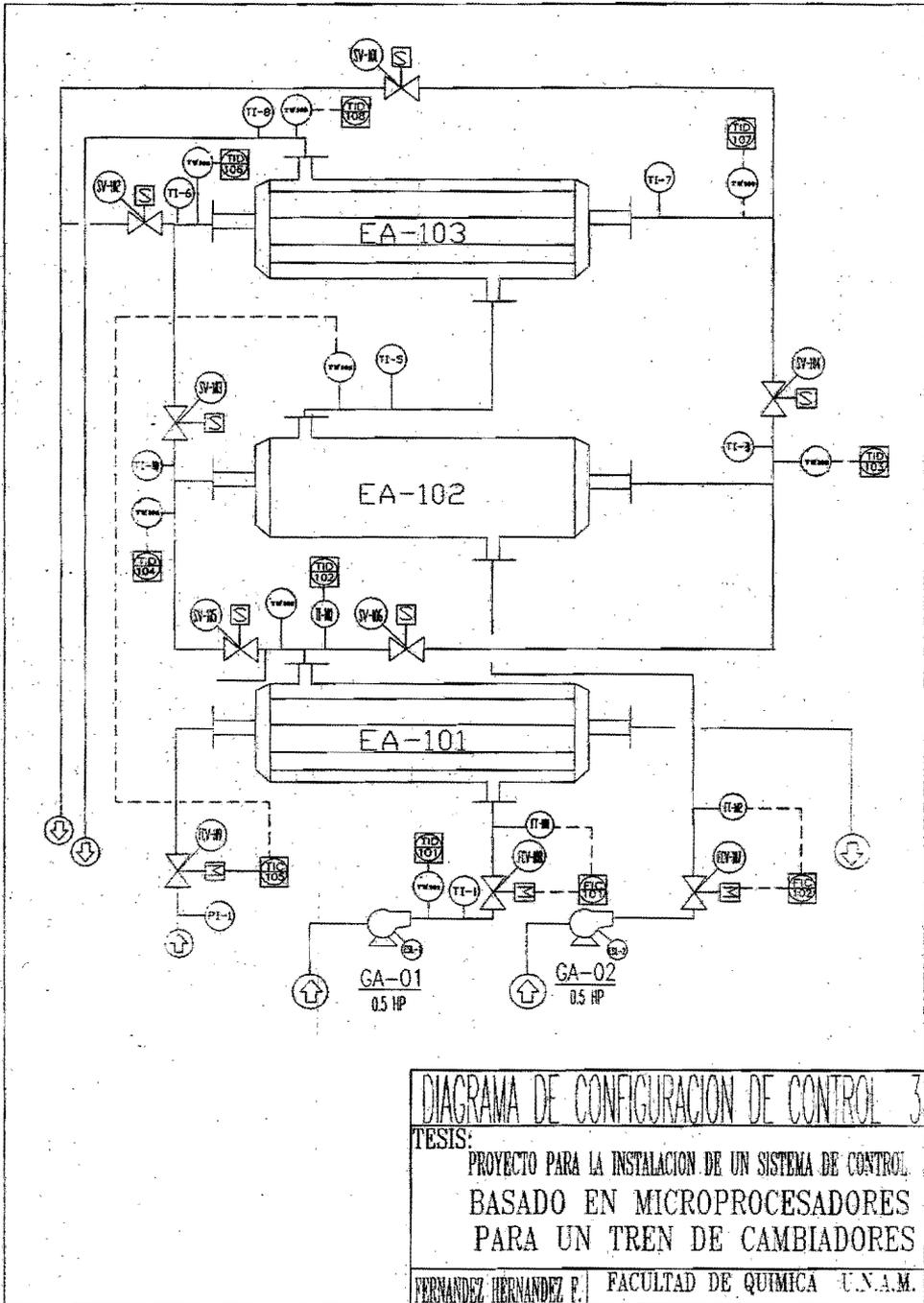


DIAGRAMA DE CONFIGURACION DE CONTROL 3
 TESIS:
 PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL
 BASADO EN MICROPROCESADORES
 PARA UN TREN DE CAMBIADORES
 FERNANDEZ, HERNANDEZ, F. FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

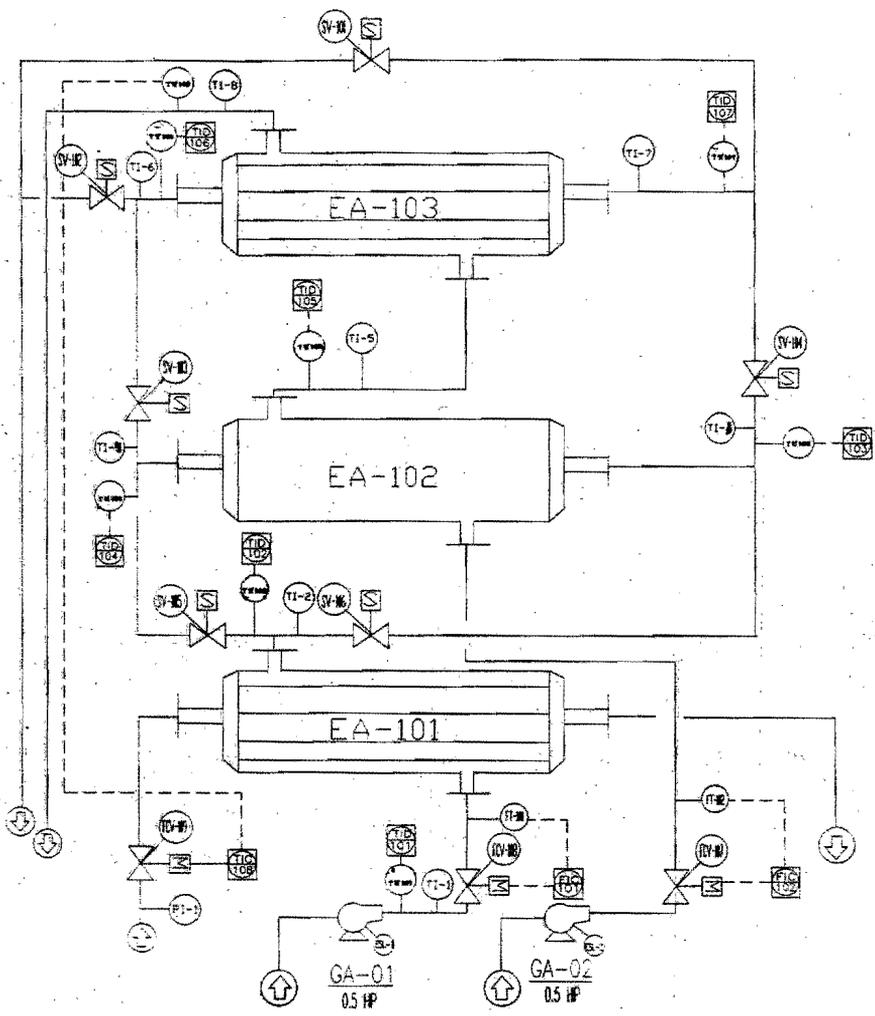


DIAGRAMA DE CONFIGURACION DE CONTROL 4
 TESIS:
 PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL
 BASADO EN MICROPROCESADORES
 PARA UN TREN DE CAMBIADORES
 FERNANDEZ HERNANDEZ P. | FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

3.5.2 ANALISIS DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES.

Respecto al análisis del desempeño dinámico de las distintas configuraciones de control, tanto la primera configuración de control como la segunda cumplen los objetivos de control y los objetivos de la práctica. Se controla la temperatura del agua manipulando el flujo de vapor, sin que la presión del mismo exceda 3 kg/cm², con flujos mínimos de agua de 0.117 l/s para el agua caliente y 0.168 l/s para el agua fría. Estos flujos se pueden manipular con cambios de los valores de los puntos de ajuste de las válvulas de control de flujos, los flujos máximos de agua son 0.468 l/s para el agua caliente y 0.672 l/s para el agua fría.

Usaremos el concepto de off-set para analizar las dos configuraciones de control.

$\text{offset} = (\text{valor deseado}) - (\text{valor final de la respuesta})$

Para la primera configuración de control el off-set es -2.7°C.

Para la segunda configuración de control el off-set es 3.5°C.

Los valores de off-set se obtuvieron de un programa de simulación de 6 ecuaciones diferenciales no lineales de primer orden las cuales se resolvieron con un algoritmo Runge-Kutta de cuarto orden, además el programa incluye los ciclos de control de cada configuración; permitiendo analizar el comportamiento del equipo bajo diferentes configuraciones de control.

3.5.3 SELECCION DE LA CONFIGURACION DE CONTROL.

La tercera configuración y la cuarta pueden obtenerse de la primera, esto se logra reprogramando el controlador. Esto presenta una gran ventaja respecto a la segunda configuración. Además una regla empírica dice: "siempre que el sistema lo permita nosotros debemos controlarlo usando mediciones de las variables que se desean controlar". Por todo esto se decide usar la primera configuración para el sistema de control.

3.6 INDICE DE INSTRUMENTOS.

Nota: Los documentos en los cuales están referidos los instrumentos son DTI y los diagramas de configuraciones de control.

INSTRUMENTO	CLAVE	SERVICIO	No. de Línea
VALVULA DE CONTROL DE VAPOR.	FCV-109	CONTROLAR FLUJO DE VAPOR A EA-101. 1er CANAL DE TARJETA 1 (AO).	1/2"VB01AC
VALVULA DE CONTROL DE AGUA.	FCV-108	CONTROLAR FLUJO DE AGUA A EA-101. 2do CANAL DE TARJETA 1 (AO).	1/2"ADS001AC
VALVULA DE CONTROL DE AGUA.	FCV-107	CONTROLAR FLUJO DE AGUA A EA-102 1er CANAL DE TARJETA 2 (AO).	1/2"ADS003AC
VALVULA SOLENOIDE.	SV-108	ENTRADA DE H2O A EA-102 1er CANAL DE TARJETA (DO).	1/2"ADS006AC
VALVULA SOLENOIDE.	SV-105	ENTRADA DE H2O A EA-102 2do CANAL DE TARJETA (DO).	1/2"ADS005AC
VALVULA SOLENOIDE.	SV-104	ENTRADA DE H2O A EA-103 3er CANAL DE TARJETA (DO).	1/2"ADS006AC.
VALVULA SOLENOIDE.	SV-103	ENTRADA DE H2O A EA-103 4to CANAL DE TARJETA (DO).	1/2"ADS005AC
VALVULA SOLENOIDE.	SV-102	ENTRADA DE H2O A EA-103 5to CANAL DE TARJETA (DO).	1/2"ADS011AC
VALVULA SOLENOIDE.	SV-101	ENTRADA DE H2O A EA-103 6to CANAL DE TARJETA (DO).	1/2"ADS008AC
TERMOPAR.	TW-101	TRANS. TEMP. DE ENTRADA A EA-101 1er CANAL DE TARJETA 1 (LL).	1/2"ADS001AC
TERMOPAR.	TW-102	TRANS. TEMP. DE SALIDA DE EA-101 2do CANAL DE TARJETA 1 (LL)	1/2"ADS006AC
TERMOPAR.	TW-103	TRANS. TEMP. DE SALIDA DE EA-102 3er CANAL DE TARJETA 1 (LL)..	1/2"ADS006AC
TERMOPAR.	TW-104	TRANS. TEMP. DE SALIDA DE EA-102 4to CANAL DE TARJETA 1 (LL)..	1/2"ADS005AC

3.6 INDICE DE INSTRUMENTOS (Cont.).

TERMOPAR.	TW-105	TRANS. TEMP. DE ENTRADA DE EAW103 1er CANAL DE TARJETA 2 (LL).	1/2"ADS009AC
TERMOPAR.	TW-106	TRWNS. TEMP. DE SALIDA DE EA-102 Wdo CANAL DE TARJETA 2 (LL).	1/2"ADS011AC
TERMOPAR.	TW-107	TRANS. TEMP. DE SALIDA DE EA-102 3er CANAL DE TARJETA 2 (LL).	1/2"ADS007AC
TERMOPAR.	TW-108	TRANS. TEMP. DE SALIDA DE EA-103 4to CANAL DE TARJETA 2 (LL).	1/2"ADS010AC
TRANSMISOR DE FLUJO	FT-101	TRANS. FLUJO DE EA-101 1er CANAL DE TARJETA (AI).	1/2"ADS002AC
TRANSMISOR DE FLUJO.	FT-102	TRANS. FLUJO DE EA-102 2do CANAL DE TARJETA (AI).	1/2"ADS004AC
INDICADOR DE TEMP.	TI-101	ENTRADA A EA-101.	1/2"ADS001AC
INDICADOR DE TEMP.	TI-102	SALIDA DE EA-101.	1/2"ADS006AC
INDICADOR DE TEMP.	TI-103	SALIDA DE EA-102.	1/2"ADS006AC
INDICADOR DE TEMP.	TI-104	SALIDA DE EA-102.	1/2"ADS005AC
INDICADOR DE TEMP.	TI-105	SALIDADE EA-103.	1/2"ADS009AC
INDICADOR DE TEMP.	TI-106	SALIDA DE EA-102.	1/2"ADS011AC
INDICADOR DE TEMP.	TI-107	ENTRADA A EA-103.	1/2"ADS007AC
INDICADOR DE TEMP.	TI-108	SALIDA DE EA-103.	1/2"ADS010AC
INDICADOR DE PRESION	PI-101	ENTRADA A EA-101.	1/2"VB01AC

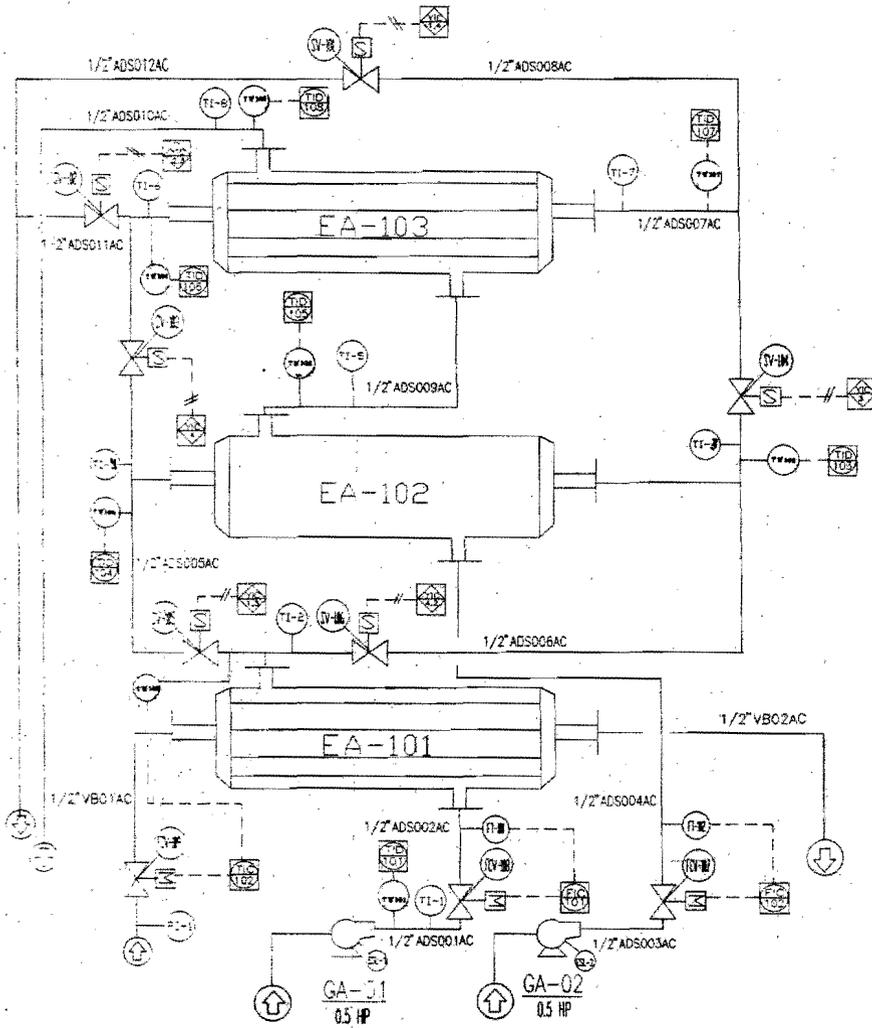


DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 TESIS:
 PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL
 BASADO EN MICROPROCESADORES
 PARA UN TREN DE CAMBIADORES
 FERNANDEZ HERNANDEZ P. FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

3.8 SELECCION Y ESPECIFICACION DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS.

Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements and Control Valves

ISA S20

		PRESSURE CONTROL VALVES PILQTS and REGULATORS						SHEET ____ OF ____	
						SPEC. NO.	REV.		
		NO	BY	DATE	REVISION	CONTRACT		DATE	
						REQ. P.O.			
				BY		CHK'D	APPR.		
GENERAL	1. Tag No.	FCV-107	FCV-108	FCV-109					
	2. Service	Control de agua de alimentación	Control de agua de alimentación	Control de agua de alimentación					
	3. Line No./Vessel No.	1/2" AD5007AC	1/2" AD5007AC	1/2" AD5007AC					
	4. Line Size/Sched. No.								
	5. Function	Control	Control	Control					
BODY	6. Type of Body	Globe	Globe	Globe					
	7. Body Size	1/2" NPT	1/2" NPT	1/2" NPT					
	8. Port Size	1/4" NPT	1/4" NPT	1/4" NPT					
	9. Guiding								
	10. No. of Ports								
	11. End Conn. & Rating								
	12. Body Material	Brass	Brass	Brass					
	13. Packing Material								
	14. Lubricator								
	15. Iso. Valve								
ACTUATOR/ PILOT	16. Seal Type								
	17. Trim Form								
	18. Trim Material								
	19. Seal Material								
	20. Required Seat Tightness								
	21. Max. Allow Sound Level dBA								
	22. Type of Actuator	Motor	Motor	Motor					
	23. Pilot								
	24. Supply to Pilot	120 VCA	120 VCA	120 VCA					
	25. Self Cont. Ext. Conn.								
ACCESSORIES	26. Diaphragm Material								
	27. Diaphragm Rating								
	28. Spring Range								
	29. Set Point	0.117 1/2	0.118 1/4	100°C					
	30. Filt. Reg. Supply Gage								
SERVICE	31. Line Strainer								
	32. Housing Vent								
	33. Internal Relief								
	34. FLOW UNITS		LIQUID	LIQUID	GAS				
	35. Fluid	Agua líquida	Agua líquida	1/2" por					
	36. Quant. Max. Cv								
	37. Quant. Oper. Cv								
	38. Valve Cv								
	39. Norm. Inlet Press. ΔP								
	40. Max. Inlet Press.								
41. Max. Shut Off ΔP									
42. Temp. Max. Operating	25°C	100°C	25°C	100°C	25°C	100°C			
43. Oper. sp. gr. Mol. Wt.									
44. Oper. Visc. % Flash									
45. % Superheat % Solids									
46. Vapor Press. Crit. Press.									
47. Predicted Sound Level dBA									
48. Manufacturer									
49. Model No.									
Notes:									

ISA S20

Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements and Control Valves

		RECEIVER INSTRUMENTS				SHEET ____ OF ____	
						SPEC. NO.	REV.
		NO	BY	DATE	REVISION	CONTRACT	
						REQ. P.O.	DATE
				BY	CHK'D	APPR.	
1	Tag No. <u>FC-101, FC-102, FC-103</u> Service <u>Controlar Temp. de H₂O a la salida de EA-101</u> <u>Controlar entrada de flujos de H₂O en EA-101 y EA-102</u>						
GENERAL	2 Function	Record <input type="checkbox"/> Indicate <input type="checkbox"/> Control <input checked="" type="checkbox"/> Blind <input type="checkbox"/> Integ <input type="checkbox"/>					
	3 Case	Deviation <input type="checkbox"/> Other _____ MFR STD <input checked="" type="checkbox"/> Nom Size <u>1 1/2" x 1 1/2" x 1 1/2"</u> Color: MFR STD <input type="checkbox"/> Other _____					
	4 Mounting	Flush <input type="checkbox"/> Surface <input type="checkbox"/> Rack <input checked="" type="checkbox"/> Multi-Case <input type="checkbox"/> Other _____ For Multiple Case, See Spec. Sheet					
	5 Enclosure Class	General Purpose <input checked="" type="checkbox"/> Weather Proof <input type="checkbox"/> Explosion-Proof <input type="checkbox"/> Class _____ For Use in Intrinsically Safe System: <input type="checkbox"/> Other _____					
	6 Power Supply	<u>117</u> -V 60Hz <input type="checkbox"/> Other ac _____ dc <input checked="" type="checkbox"/> <u>24</u> Volts					
	7 Chart	Strip <input type="checkbox"/> Roll <input type="checkbox"/> Fold <input type="checkbox"/> Circular _____ Time Marks _____					
	8 Chart Drive	Range _____ Number _____					
	9 Scales	Sosed _____ Power _____ Type _____ Range 1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____					
CONTROLLER	10 Control Modes	P = Prop (Gain), I = Integral (Auto Reset), D = Derivative (Rate), Sub: s = Slow, f = Fast P <input checked="" type="checkbox"/> PI <input type="checkbox"/> PD <input type="checkbox"/> PID <input checked="" type="checkbox"/> I _f <input type="checkbox"/> O _f <input type="checkbox"/> I _s <input type="checkbox"/> D _s <input type="checkbox"/>					
	11 Action	Other _____ On Meas. Increase Output: Increases <input checked="" type="checkbox"/> Decreases <input type="checkbox"/>					
	12 Auto-Man Switch	None <input type="checkbox"/> MFR STD <input type="checkbox"/> Other _____					
	13 Set Point Adj.	Manual <input checked="" type="checkbox"/> External <input type="checkbox"/> Remote <input type="checkbox"/> Other _____					
	14 Manual Reg	None <input checked="" type="checkbox"/> MFR STD <input type="checkbox"/> Other _____					
	15 Output	4-20 mA <input checked="" type="checkbox"/> 10-50 mA <input type="checkbox"/> 21-103 kPa (3-15 psig) <input type="checkbox"/> Other _____					
INPUTS	16 Input Signals	4-20 mA <input checked="" type="checkbox"/> 10-50 mA <input type="checkbox"/> 21-103 kPa (3-15 psig) <input type="checkbox"/> Other _____					
	17 No. of Inputs	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input checked="" type="checkbox"/>					
	18 Power for XMTRS	External <input type="checkbox"/> This Inst <input type="checkbox"/> No. of Independent Supplies _____ For Transmitters, See Spec Sheet.					
ALARMS	19 Alarm Switches	Quantity _____ Form _____ Rating _____					
	20 Function	Meas. Var. <input checked="" type="checkbox"/> Deviation <input type="checkbox"/> Contacts To _____ On Meas _____ Other _____					
	21 Options	Filter-Reg <input type="checkbox"/> Supply Gage <input type="checkbox"/> Charts <input type="checkbox"/> Int. Illumination <input type="checkbox"/> Other _____					
	22 MFR & Model No.	<u>TPC 3330 Bristol Babcock</u>					
Notes:							

© ISA S20

Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements and Control Valves

		SOLENOID VALVES				SHEET _____ OF _____		
		NO	BY	DATE	REVISION	SPEC. NO.	REV.	
						CONTRACT	DATE	
						REQ. P.O.		
						BY	CHK'D	APPR.
VALVE BODY	1. Tag Number	FCV-1	FCV-2	FCV-3	FCV-4			
	2. Service	Corte de agua	Corte de agua	Corte de agua	Corte de agua			
	3. Line No./Vessel No.	1/2" ADS008 AC	1/2" ADS011 AC	1/2" ADS005 AC	1/2" ADS007 AC			
	4. Quantity	1	1	1	1			
	5. Type	2 vías	2 vías	2 vías	2 vías			
	6. Size - Body/Port	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"			
	7. Rating & Type Conn.							
	8. Material - Body	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable			
	9. Material - Seat							
	10. Material - Diaphragm							
	11. Operation Direct/Pilot							
	12. Packless or Type Packed							
	13. Manual Re-Set							
	14. Manual Operator							
	15.							
	16.							
WHEN DE-ENERGIZED	17. 3-Way Valve Opens/Close	o p e n	o p e n	o p e n	o p e n			
	18. 3-Way							
	19. Vent Port Opens/Close							
	20. Press Port Opens/Close							
	21. 4-Way							
	22. Press to Cyl. 1/Cyl. 2							
	23. Exp. from Cyl. 1/Cyl. 2							
	24.							
25.								
SOLENOID	26. Enclosure							
	27. Voltage/Hz	120 VAC/60 Hz	120 VAC/60 Hz	120 VAC/60 Hz	120 VAC/60 Hz			
	28. Style of Coil							
	29. Single or Double Coil							
	30.							
31.								
SERVICE CONDITIONS	32. Fluid	Agua líquida	Agua líquida	Agua líquida	Agua líquida			
	33. Qty. Maximum							
	34. Oper. Diff. Min/Max							
	35. Allow. Diff. Min/Max							
	36. Temp. Norm/Max.	25°C / 100°C	25°C / 100°C	25°C / 100°C	25°C / 100°C			
	37. Oper. sp. gr.	1	1	1	1			
	38. Oper. Viscosity	2.42 cP	2.42 cP	2.42 cP	2.42 cP			
	39. Required Cv	3.0	3.0	3.0	3.0			
	40. Valve Or.	4.0	4.0	4.0	4.0			
	41.							
	42.							
43.								
44.								
45. Manufacturer	Honeywell	Honeywell	Honeywell	Honeywell				
46. Model Number								

Notes:

ISA S20

Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements and Control Valves

		SOLENOID VALVES				SHEET _____ OF _____	
		NO	BY	DATE	REVISION	SPEC. NO.	REV.
						CONTRACT	DATE
						REQ.	P.O.
				BY	CHK'D	APPR.	
VALVE BODY	1. Tag Number	FCV-5	FCV-6				
	2. Service	Corte de agua	Corte de agua				
	3. Line No./Vessel No.	7/2" ADS 005 AC	7/2" ADS 005 AC				
	4. Quantity	1	1				
	5. Type	2 way	2 way				
	6. Size - Body/Port	7/2"	7/2"				
	7. Rating & Type Conn.	7/2"	7/2"				
	8. Material - Body	Acero inoxidable	Acero inoxidable				
	9. Material - Seat						
	10. Material - Diaphragm						
	11. Operation Direct/Pilot						
	12. Packless or Type Packed						
	13. Manual Re-Set						
	14. Manual Operator						
	15.						
	16.						
WHEN DE-ENERGIZED	17. 2-Way Valve Opens/Close	open	open				
	18. 3-Way						
	19. Vent Port Opens/Close						
	20. Press Port Opens/Close						
	21. 4-Way						
	22. Press to Cyl. 1/Cyl. 2						
	23. Exh. from Cyl. 1/Cyl. 2						
24.							
25.							
SOLENOID	26. Enclosure						
	27. Voltage/Hz	120 VAC/60 Hz	120 VAC/60 Hz				
	28. Style of Coil						
	29. Single or Double Coil						
	30.						
SERVICE CONDITIONS	31.						
	32. Fluid	Agua líquida	Agua líquida				
	33. Qty. Maximum						
	34. Oper. Diff. Min/Max						
	35. Allow. Diff. Min/Max						
	36. Temp. Norm/Max	25°C / 700°C	25°C / 700°C				
	37. Oper. sp. gr.	1	1				
	38. Oper. Viscosity	2.48 cP	2.48 cP				
	39. Required Cv	3.0	3.0				
	40. Valve Cv	4.0	4.0				
	41.						
42.							
43.							
44.							
45. Manufacturer							
46. Model Number							

Notes:

ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR

DPC 3330 de Bristol Brackoc Intelligent Distributed Process Controller.

Bajo consumo de corriente

Procesador de 16 bits CMOS 80C186

Hasta 512 KBytes EPROM

64 K, 128K o 384 KBytes en RAM

Bateria para memoria

Hasta 4 puertos seriales de Entrada-Salida para comunicaciones

RS423/RS485

Hasta 38.4 KBaud Asincrónicos

187.5 KBaud y 1 megaBaud sincrónicos

Estructuras modem (línea privada, dial up o fibra óptica)

De 6 a 12 puertos para acomodar las tarjetas de Entrada-salida proceso

Disponibilidad de canales para tarjetas:

Entrada Digital 8

Salida Digital 8

Entrada Analógica 4

Salida Analógica 2

Contador de alta velocidad 4

Entrada de bajo nivel 4

Entrada Analoga de alta velocidad 4

Entrada-Salida de señal control remoto RIO 3331

Plugs de entrada y salida

Pantalla LED para módulos digitales de entrada y salida

Rango de temperatura de operación de -40 a 70 °C

Lenguaje de control ACCOL II

4. INGENIERIA DE DETALLE.

4.1 DIRECCIONAMIENTO DE SEÑALES LOGICAS Y ANALOGICAS.

Las tarjetas de salida ya sean discretas o analógicas mandan señales del controlador a equipos o instrumentos de campo.

Las tarjetas de entrada ya sean discretas, analógicas o de bajo nivel mandan señales de equipos o instrumentos de campo al controlador, en las tablas se lista la clave del equipo o instrumento que maneja la tarjeta.

TARJETA DE SALIDAS DISCRETAS (DO)

Board code	E
Rango	50 VDC o 120 VAC
CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO
1	SV-106
2	SV-105
3	SV-104
4	SV-103
5	SV-102
6	SV-101
7	GA-01
8	GA-02

TARJETAS DE ENTRADAS ANALOGICAS (AI)

Board code	1
Rango	4-20mA 1-5VDC
CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO
1	FT-101
2	FT-102
3	
4	

TARJETAS DE SALIDAS ANALOGICAS (AO)

Board code	6
Rango	4-20mA 1-5VDC
CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO
1	FCV-109 SP=100°C
2	FCV-108 SP=0.168 l/s

TARJETAS DE ENTRADAS BAJO NIVEL (AI)

Board code	3
Rango	10mV
CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO
1	TW105
2	TW106
3	TW107
4	TW108

TARJETA DE ENTRADAS DISCRETAS (DI)

Board code	E
Rango	50VDC o 120 VAC
CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO
1	Botón Arreglo 1.
2	Botón Arreglo 2
3	Botón Arreglo 3
4	Botón Arreglo 4
5	Botón de encendido de bomba
6	Botón de paro de sistema
7	
8	

TARJETA DE SALIDAS ANALOGICAS (AO)

Board code	7
Rango	4-20 mA o 1-5 VDC
CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO
1	FCV-107 SP=0.117l/s
2	

TARJETA DE ENTRADAS BAJO NIVEL (AI)

Board code	4
Rango	10mV
CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO
1	TW101
2	TW102
3	TW103
4	TW104

4.2 CONDICIONES PARA LA OPERACION DEL EQUIPO.

	<u>Acción.</u>	<u>Condición necesaria</u> <u>arranque/paro</u>	<u>Fase de operación normal</u>
ENTRADAS			
Botón de arreglo 1.	Abrir las válvulas de control de agua y cerrar las válvulas SV-101 y SV-105.	_____	Normalmente cerradas, abrir si se cambia de arreglo.
Botón de arreglo 2.	Abrir las válvulas de control de agua y cerrar las válvulas SV-102 y SV-106.	_____	Normalmente cerradas, abrir si se cambia de arreglo.
Botón de arreglo 3.	Abrir las válvulas de control de agua y cerrar las válvulas SV-102, SV-104 y SV-105.	_____	Normalmente cerradas, abrir si se cambia de arreglo.
Botón de arreglo 4.	Abrir las válvulas de control de agua y cerrar las válvulas SV-101, SV-103 y SV-106.	_____	Normalmente cerradas, abrir si se cambia de arreglo.
Botón de arranque de la bomba.	Encender la bomba y abrir la válvula de vapor.	Válvulas correspondientes al arreglo cerradas y válvulas de control de flujo abiertas.	Encendido (on)
Interruptor de presión.	Cerrado si $P < 0$.	Requerido antes de que abra la válvula de vapor.	Normalmente abierto.
Botón de paro de sistema.	Cerrar la válvulas de control y parar la bomba.	Temperatura $< 30^{\circ}\text{C}$	Apagado
Interruptor de temperatura.	Cerrado si Temp. $< 30^{\circ}\text{C}$	requerido antes de cerrar la bomba.	Normalmente abierto.
SALIDAS			
Válvulas de control de flujo de agua.	Debe abrir.	Cuando se elija un arreglo.	Normalmente abiertas.
Bomba.	Debe Operar.	Antes abrir las válvulas de control y cerradas válvulas correspondientes al arreglo.	Encendida.
	No debe operar	Si las válvulas de control están cerradas	_____
	Debe parar.	_____	Si se oprime botón de paro
Válvula de vapor.	Debe abrir.	Antes válvulas de agua abiertas y bomba funcionando.	Normalmente abierta.
	No debe abrir.	Si las válvulas están cerradas o la bomba no funciona.	_____
Válvulas de agua correspondientes al arreglo.	Debe cerrar.	Antes de funcionar la bomba.	Normalmente cerradas.

4.2.1 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA LÓGICO DEL EQUIPO.

Existen 4 botones con señal inicial de cero, que sirven para seleccionar cada una de las 4 formas de operación del tren de cambiadores de calor; estas señales cierran las válvulas correspondientes a cada arreglo; cada uno de estos botones tiene una identificación que corresponde a un entrelace, los cuales aparecen en el DTI indicando que la operación de las válvulas solenoides está condicionada al entrelace indicado en símbolo correspondiente.

En el diagrama lógico hay una compuerta ORECLUSIVO # 1, a la que llegan las señales de los botones que sirven para la selección del arreglo del equipo; esta compuerta asegura que se seleccione sólo un arreglo a la vez ya que sólo si una de las señales tiene valor de uno la señal de salida será uno.

La señal de salida de la compuerta ORECLUSIVO # 1 abre las válvulas de control de flujo FCV-107 y FCV-108.

Hay un botón de encendido de bomba, la señal de este botón es inicialmente cero y llega a una compuerta AND # 1, a esta compuerta llega la señal de la compuerta ORECLUSIVO # 1, (esta señal llega para garantizar que la bomba funcione con líneas abiertas), y también llega la señal del botón de paro del sistema que tiene valor inicial de uno.

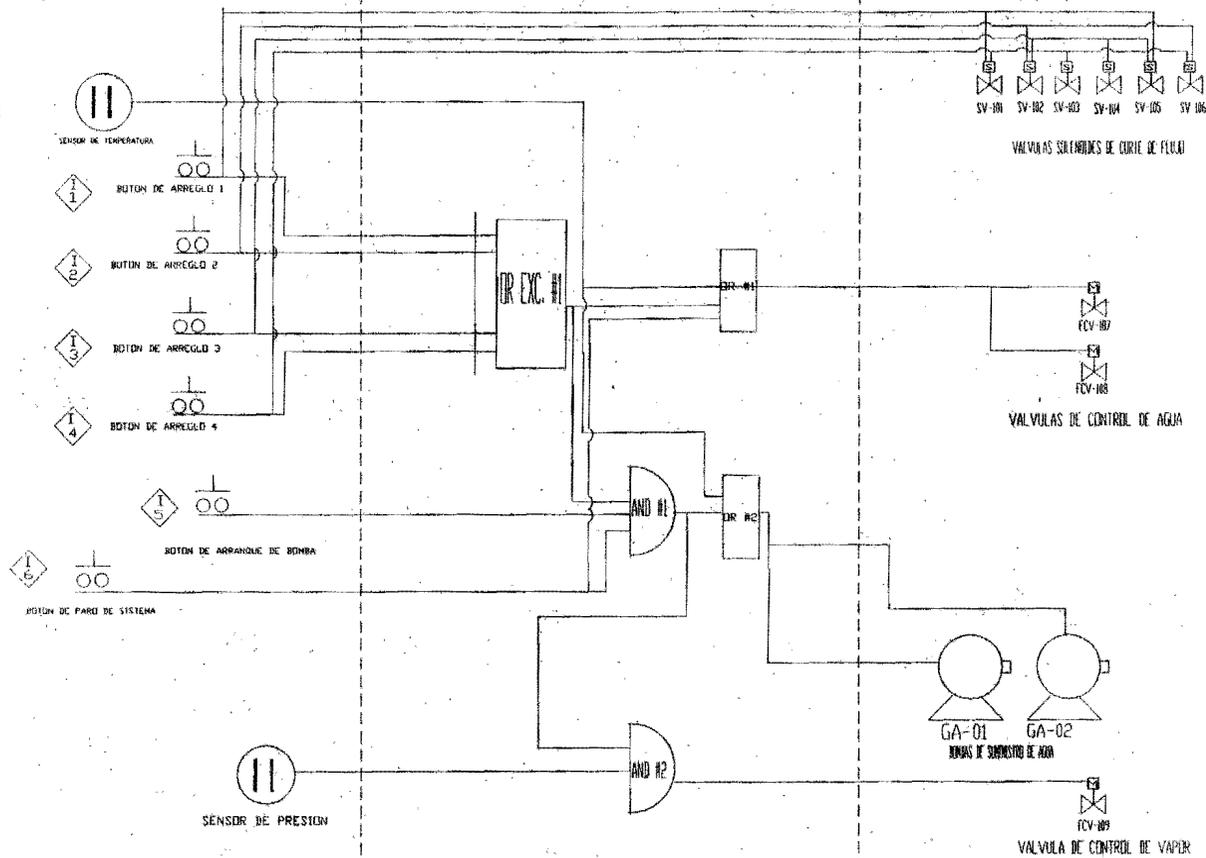
La señal del botón de encendido de bomba llega junto con la señal de un sensor de presión con valor inicial de cero y con la señal del botón de paro de sistema, las tres llegan a la compuerta AND # 2, y la señal de salida de ésta llega a la válvula de vapor.

Hay dos compuertas OR # 1 y OR # 2 a las que llega la señal de un sensor de presión; a OR # 1 llega la señal de salida de la compuerta AND # 1 y a OR # 2 llega la señal de salida de ORECLUSIVO # 1. Estas dos compuertas evitan que la bomba se pare y que cierren las válvulas de control de agua si la temperatura del agua dentro del cambiador es mayor que 30°C.

ENTRADAS

LOGICA

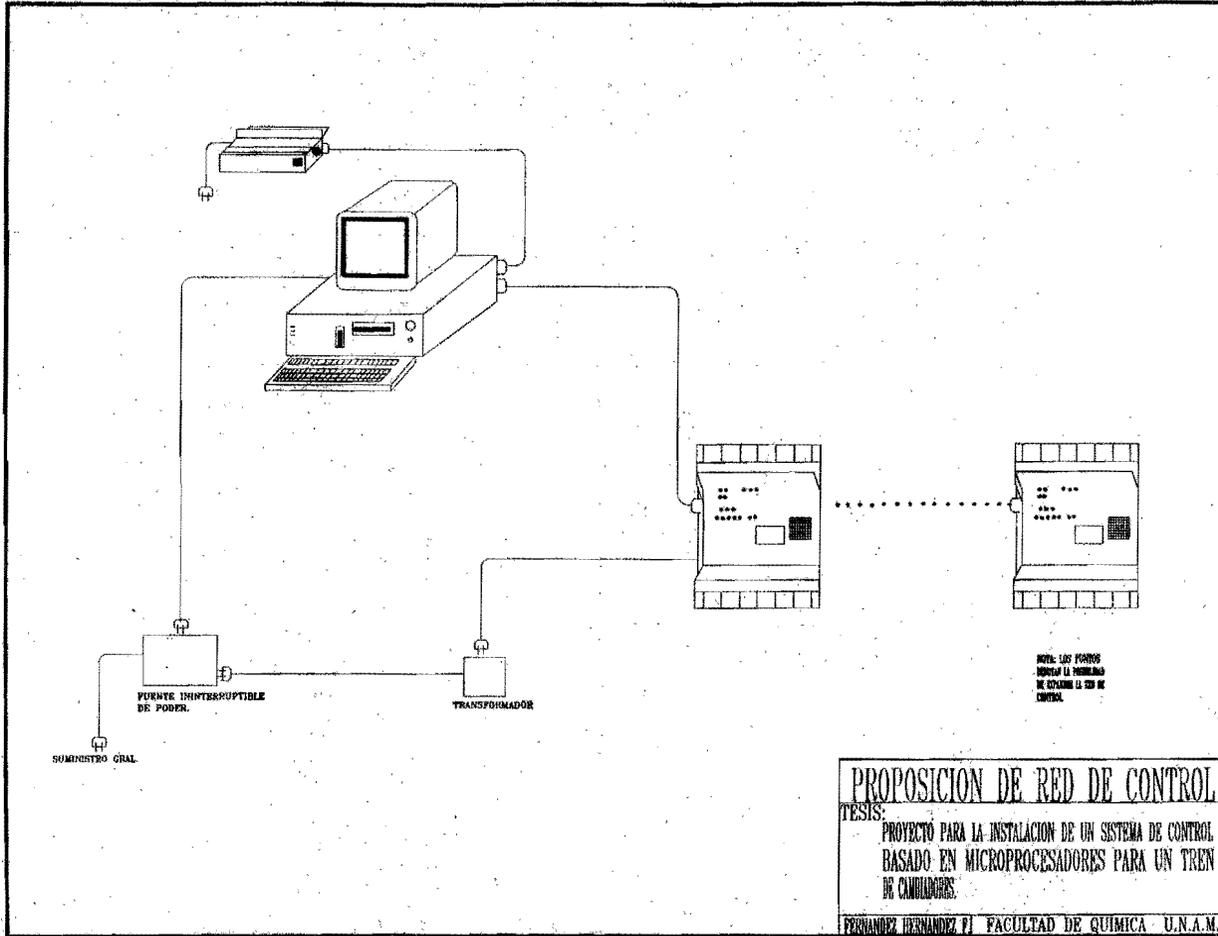
SALIDAS



4.2.2 DIAGRAMA LOGICO.

4.2.3 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE PROPOSICIÓN DE RED DE CONTROL.

En este diagrama se presenta la proposición de la red de control. El controlador está conectado a una computadora que servirá como interfase para el operador. En un principio toda la información del proceso es transmitida al controlador mediante los instrumentos de medición; el controlador se conecta a la computadora mediante un cable RS-232 y un software permite crear la interfase en la computadora; esta puede ser un indicador gráfico por ejemplo. Una impresora está conectada a la computadora, la impresora aumenta la capacidad de la interfase ya que permite registrar la información del proceso para análisis posteriores. El diagrama presenta una fuente de poder ininterrompible este aparato es necesario el funcionamiento del equipo de control. Por último en el diagrama aparece otro controlador esto indica que se pueden conectar varios controladores en red, los cuales controlan diferentes equipos, la ventaja es que la información puede ser transmitida en todas direcciones aumentando la capacidad de realizar estudios de varios sistemas.



4.3 LISTA DE MATERIALES.

1. Aditamento 3330-A. Unidad de procesamiento central (C.P.U.) velocidad 12 Mhz. con coprocesador matemático de punto flotante y configuración de memoria RAM de 129 K.
2. Aditamento 3330 -B y C. Selección de módulos de entrada y salida para ser instalados en las posiciones 1-6 (3330-B) y posiciones 7-12 (3330-C).
3. Aditamento 3330-D. Unidad de display y teclado integral.
4. Fuente de alimentación N/P 390214-01-9. Alimentación: 120 V. 60 MHz. Salida 24 V.C.D. Capacidad: 86.4W.
5. Paquete de programas (software). ACCOL-II, Incluye: AIC 5.10. ABC 5.10. TOOLKIT 5.4.
6. Paquete de sistema FIX INTELLUTION INC: Compatible con 486 y Pentium. Compatible con MS-DOS y Windows 3.1.
7. Sistema Multitareas. Red compatible con TC/IP. Interfase de comunicación Bristol open BSI.
8. 2 arrancadores para bomba con contactor.
9. 1 Modulo de entradas analógicas (AI).
10. 2 Modulos de salidas analógicas (AO).
- 11 1 Modulo de salidas discretas (DO).
- 12 1 Modulo de entradas discretas (DI).
13. 2 Modulos de entradas de bajo nivel (LL).
14. CABLE PARA INSTRUMENTOS.
15. 30 m DE TUBO CONDUIT TIPO LIGERO.
16. PC 486 CON IMPRESORA.
17. 2 BRIDAS DE 1/2" DE DIAMETRO.
18. 2 PLACAS DE ORIFICIO DE 1/2" DE DIAMETRO.
(Estos dos últimos para conexión de los transmisores de presión diferencial).

4.4 ESTIMADO DEL COSTO DEL PROYECTO.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (U.S.DLLS.)	PRECIO TOTAL (U.S.DLLS.)
1	UNIDAD DE CONTROL DISTRIBUIDO DE PROCESO D.P.C.-3330. CONSISTENTE EN UNA UNIDAD BASE PARÁ 12 MODULOS E/S. EN CAJA NEMA PARA MONTAJE EN PARED O TABLERO, CON ALIMENTACION A 24 V.C.D. MODELO: 333010A2.	2,895.00	2,895.00
	NOTA: ESTA UNIDAD BASE SE COMPLEMENTA CON LOS SIGUIENTES ADITAMENTOS 3330-A; B; C; Y D. COMO SIGUE:		
1	ADITAMENTO 3330-A. UNIDAD DE PROCESAMIENTO CENTRAL (C.P.U.) DE NIVEL AE SIN TARJETA PROM Y VELOCIDAD DE 12 MHz. CON COPROCESADOR MATEMATICO DE PUNTO FLOTANTE Y CONFIGURACION DE MEMORIA RAM DE 129 K. MODEL: 3330-A-2-2-4-1-000.	560.00	560.00
	ADITAMENTO 3330-B Y C. SELECCION DE MODULOS DE ENTRADA Y SALIDA PARA SER INSTALADOS EN LAS POSICIONES 1-6 (3330-B) Y POSICIONES 7 AL 12 (3330-C). MODELO: 3330-B XXXXXX (1-6) MODELO: 3330-C XXXXXX (7-12)		
	NOTA: PARA ACOMODO DE CUALQUIERA DE LOS MODULOS QUE SE INCLUYEN A CONTINUACION.		
3	MODULO DE ENTRADA ANALOGICA (CODIGO: 5) DE BAJO NIVEL. CANTIDAD DE ENTRADAS: 4.	1,055.00	3,165.00
2	MODULO DE SALIDA ANALOGICA (CODIGO: 7) CANTIDAD DE SALIDAS: 2 RANGO DE SALIDA: 1 A 5 V.C.D. / 4-20 m.A.	435.00	870.00
1	MODULO DE ENTRADA DISCRETA (CODIGO: 4) CANTIDAD DE ENTRADAS: 8	1032.00	1032.00

1	<p>MODULO DE ENTRADAS ANALOGICA (CODIGO:2) CANTIDAD DE ENTRADAS:4 RANGO DE ENTRADA: 4-20 mA</p>	630.00	630.00
2	<p>MODULO DE SALIDAS DISCRETAS (CODIGO:F) CANTIDAD DE SALIDAS:4 TIPO DE SALIDA COLECTOR ABIERTO. NOTA:CONSIDERAR QUE PUEDE USAR HASTA 12 MODULOS DE ENTRADA / SALIDA EN CUALQUIER COMBINACION.</p>	245.00	490.00
1	<p>ADITAMENTO 3330-D UNIDAD DE DISPLAY Y TECLADO INTEGRAL MOD.:3330-D-200</p>	450.00	450.00
1	<p>FUENTE DE ALIMENTACION N/P 390214-01-9. ALIMENTACION: 120 V. 60 MHz. SALIDA:24 V.C.D. CAPACIDAD: 86.4 W</p>	540.00	540.00
1	<p>PAQUETE PROGRAMAS (SOFTWARE) ACCOL-II, INCLUYE: AIC 5.10. ABC 5.10. TOOLKIT 5.4.</p>	2000.00	2000.00
1	<p>PAQUETE COMPLETO DE SISTEMA FIX INTELLUTION INC. COMPATIBLE CON 486 Y PENTIUM. COMPATIBLE CON MS-DOS Y WINDOWS 3.1. SISTEMA MULTITAREAS. RED COMPATIBLE CON TC/IP INCLUIDA DOCUMENTACION. INTERFACE DE COMUNICACION BRISTOL OPEN BSI. CLAVE DE SEGURIDAD.</p>	8000.00	8000.00
2	<p>ARRANCADOR PARA BOMBA CON CONTACTOR</p>	224.40	448.80
2	<p>TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL RANGO:0-400 in H2O SALIDA 4-20 mA ALIMENTACION 24 V.D.C.</p>	1018.80	2037.60

2	VALVULA ACTUADA CON MOTOR ELECTRICO MOD. IIP1139-QA1014 CUERPO DE HIERRO DUCTIL CONECC. ROSCADA 1/2 INCH SERVICIO: AGUA.	695.00	1,391.40
1	VALVULA ACTUADA CON MOTOR A FALLA DE CORR. CIERRA SERVICIO: VAPOR.	837.00	837.00
6	VALVULA SOLENOIDE MODELO: G98500-20 NORMALMENTE CERRADA	107.00	642.00
1	FUENTE DE PODER ININTERRUPTIBLE PARA DPC Y PC DE 1KVA	208.00	208.00
8	TERMOPAR TIPO T RANGO 0-400 C	30.00	240.00
1	PC 486 120 MHz. 250 M RAM. MONITOR SVGA 19" 1 PTO SERIE 1 PTO. PARALELO. COPROCESADOR NUM. MOUSE. DRIVE 3.5"	2000.00	2000.00
30m	TUBO CONDUIT 1/2" LIGERO	0.33	10.00
30m	CABLE PARA INSTRUMENTOS 2*16 ROSCADO CON PORTECCION HILADA	5.00	150.00
100m	CABLE DE EXTENSION PARA TERMOPAR	8.00	800.00
4	BRIDAS 1/2"	10.00	20.00
2	PLACA DE ORIFICIO 1/2"	40.00	40.00
TOTAL:			29,456.80

El estimado del costo del proyecto se realizó en dolares americanos para darle una mayor vigencia

ESTIMADO TOTAL: 29,456.80 U.S.DLLS.

5 CONCLUSIONES.

Se desarrollarán los conceptos teóricos necesarios para lograr la instalación de instrumentos y equipo necesarios para la automatización del tren de cambiadores de calor, instalado en el laboratorio de ingeniería química de la UNAM.

Se desarrollo un programa de simulación para representar al tren de cambiadores de calor, se utilizó un modelo matemático que consta de 6 ecuaciones diferenciales de primer orden, no lineales, las cuales se resolvieron con un algoritmo Runge-Kutta de cuarto orden. El programa también incluye la lógica de operación del equipo; esto permite simular el funcionamiento del equipo desde su arranque y se puede variar la alineación para operar el equipo en todas sus arreglos posibles; ya sea con flujos a contracorriente o en paralelo. Además en el programa se variaron los ciclos de control para estudiar las distintas configuraciones de control propuestas dandonos fundamentos para elegir la mejor configuración; la configuración elegida cumple satisfactoriamente con los objetivos de control y los objetivos de la práctica, ya que permite controlar al equipo dentro de los límites impuestos por la operación del mismo.

Los temas que contempla el trabajo ilustran de forma general conceptos como el de control analógico, elementos que forman un circuito de control, control digital directo, sistemas de control distribuido, computadoras supervisoras, definición de objetivos de control, clasificación de variables de un proceso químico, definición de límites alarmas y puntos de ajuste y proposición de arquitecturas de control.

equipos e instrumentos, una lista de materiales y un diagrama de proposición de la red de control. Con estos documentos quedan totalmente especificados los instrumentos y equipos necesarios para cumplir con los objetivos de control y los objetivos de la práctica además de indicar como deben ser instalados.

Respecto al controlador, la elección del DPC 3330 presenta varias ventajas por su versatilidad. El equipo ocupa poco espacio y puede ser instalado en campo, eliminando los costos de un cuarto de control acondicionado, además de permitir al alumno iniciar acciones de control y evaluar las respuestas del equipo en el mismo lugar, es decir en campo. El equipo permite integrar una gran variedad de entradas y salidas de proceso con lo cual se puede capturar información adicional para realizar otro tipo de estudios como puede ser el estudio de una bomba o el de una placa de orificio. El controlador DPC 3330 cuenta con una gran variedad de canales de comunicación lo que da la posibilidad de instalar redes de comunicación de datos entre distintos controladores los cuales desarrollan tareas diferentes, de esta manera se puede solicitar información sobre otros equipos o prácticas, o iniciar acciones de control de un equipo a otro. Por último la interfase se puede crear en una computadora la cual puede ser configurada para funcionar como un indicador gráfico el cual representa al equipo como un diagrama de flujo que incluye datos instantáneos del proceso con sus valores corrientes; otro equipo útil para crear la interfase es una impresora en la cual se registran datos para análisis posteriores.

Los avances tecnológicos han tenido logros muy importantes en la ingeniería con el propósito de ir a la vanguardia la automatización del laboratorio de ingeniería química es un proyecto viable esto permitirá que el estudiante tenga contacto directo con la instrumentación de control moderna aprendiendo las nuevas técnicas de control que dominan el mercado.

contacto directo con la instrumentación de control moderna aprendiendo las nuevas técnicas de control que dominan el mercado.

El trabajo aquí presentado esta orientado a cumplir los objetivos impuestos por la práctica, sin embargo, el controlador puede ser reprogramado para cumplir con tareas diferentes a las solicitadas por la práctica que se realiza actualmente, de esta manera se deben reestructurar las prácticas para obtener los mayores beneficios de estos equipos de control.

6 REFERENCIAS.

1. Donald Q. Kern; Process Heat Transfer; McGraw-Hill Vigésima quinta Reimpresión; México D.F. 1994.
2. William L. Luyben; Process Modeling, Simulation, and control for Chemical Engineers; McGraw-Hill Segunda Edición 1990.
3. Stephanopoulos George; Chemical Process Control; Prentice Hall; New Jersey 1984.
4. Chapra, Steven C; Numerical Methods for Engineers; McGraw-Hill Segunda Edición. 1988.
5. The chemical Rubber Publishing CO; Handbook of Chemistry and Physics; 1991
6. T. H. Tsai, J. W. Lane, C. S. Lin; Modern Control Techniques for the Processing Industries; Editorial Marcel Dekker Inc. New York 1986.
7. Shinskey, F. G., Process Control Theory; McGraw-Hill; New York, 1965.
8. Greene, W. R; Válvulas. Selección, Uso y Mantenimiento; McGraw-Hill inc; U.S.A. 1989.
9. Instrument Society of America; Graphic Symbols of Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic, and Computer Systems; ISA; 1988.
10. Instrument Society of America; Specification Forms for Process Measurement and Control Instrument, Primary Elements and Control Valves; ISA; 1988.
11. Instrument Society of America; Instrumentation Symbols and Identification; ISA; 1988.