

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA
DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES
PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE Y
CALENTAMIENTO DE UN LIQUIDO".



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
VINICIO ROMAN EDMUNDO FRIAS ROJAS



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Prof. JAVIER AUDRY SANCHEZ

Vocal: Prof. AMBROSIO CHAVEZ CHAVARRIA

Secretario: I.Q. FRANCISCO JAVIER CASTRO BARRERA

Primer suplente: Prof. JUAN CARLOS JIMENEZ BEDOLLA

Segundo suplente: Prof. JOSE FERNANDO BARRAGAN AROCHE

Sitio donde se desarrolló el tema:

Facultad de Química U.N.A.M.

Director de tesis:



I.Q. FRANCISCO JAVIER CASTRO BARRERA

Sustentante:



FRIAS ROJAS VINICIO ROMAN EDMUNDO

INDICE

	PAG
INTRODUCCION.	1
1. GENERALIDADES SOBRE EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL BASADOS EN MICROPROCESADORES.	5
2. DESCRIPCION Y ANALISIS DE COMO SE LLEVA AL CABO LA OPERACION Y EL CONTROL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE Y CALENTAMIENTO DE UN LIQUIDO.	7
2.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA.	10
3. JUSTIFICACION DE LA IMPLANTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES.	11
4. INGENIERIA BASICA	
4.1 DATOS BASICOS.	13
4.2 OBJETIVOS DE CONTROL.	14
4.3 DEFINICION DE ALARMAS, LIMITES, PUNTOS FIJOS Y ENTRELACES.	16
4.4 DESARROLLO DEL MODELO DINAMICO DEL SISTEMA.	17
4.4.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA DIVIDIDO.	23
4.5 ANALISIS DE GRADOS DE LIBERTAD.	30
4.5.1 ANALISIS DE GRADOS DE LIBERTAD DEL SISTEMA POR EQUIPO Y ECUACIONES.	31
4.5.2 CORRIENTES REDUNDANTES Y GRADOS DE LIBERTAD DEL SISTEMA.	32
4.6 ECUACIONES DE CONTROL.	33
4.7 CONFIGURACIONES DE CONTROL PROPUESTAS.	35
4.7.1 PROPUESTA DE CONTROL 1.	36
4.7.1.1 DIAGRAMA DE PROPUESTA DE CONTROL 1.	37
4.7.2 PROPUESTA DE CONTROL 2.	38
4.7.2.1 DIAGRAMA DE PROPUESTA DE CONTROL 2.	39
4.7.3 PROPUESTA DE CONTROL 3.	40
4.7.3.1 DIAGRAMA DE PROPUESTA DE CONTROL 3.	41
4.7.4 PROPUESTA DE CONTROL 4.	42
4.7.4.1 DIAGRAMA DE PROPUESTA DE CONTROL 4.	43
4.7.5 PROPUESTA DE CONTROL 5.	44
4.7.5.1 DIAGRAMA DE PROPUESTA DE CONTROL 5.	45
4.7.6 PROPUESTA DE CONTROL 6.	46
4.7.6.1 DIAGRAMA DE PROPUESTA DE CONTROL 6.	47

	PAG
4.8 ANALISIS DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES.	48
4.8.1 GRAFICA DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 1	49
4.8.1 ANALISIS DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 1	50
4.8.2 GRAFICA DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 2	51
4.8.2 ANALISIS DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 2	52
4.8.3 GRAFICA DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 3	53
4.8.3 ANALISIS DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 3	54
4.8.3.1 GRAFICA DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LOS CAMBIADORES	54A
4.8.4 ANALISIS DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LOS INTERCAMBIADORES DEL SISTEMA.	55
4.8.5. ANALISIS DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LA PROPUESTA ADICIONAL.	55
4.8.5.1 GRAFICA DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LA PROPUESTA DE CONTROL ADICIONAL.	57
4.9 SELECCION DE LA CONFIGURACION DE CONTROL.	58
4.10 INDICE DE INSTRUMENTOS.	59
4.10.1 INDICE DE TUBERIA.	60
4.10.2 TABLA DE ACCESORIOS.	61
4.11 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION.	62
5. INGENIERIA DE DETALLE.	
5.1 FORMAS DE ESPECIFICACION DE INSTRUMENTOS, ELEMENTOS PRIMARIOS Y VALVULAS DE CONTROL.	63
5.1.1 FORMA DE ESPECIFICACION DE VALVULAS SOLENOIDES.	64
5.1.2 FORMA DE ESPECIFICACION DE VALVULAS DE CONTROL.	65
5.1.3 FORMA DE ESPECIFICACION DE TERMOPARES.	66
5.1.4 FORMA DE ESPECIFICACION DEL CONTROLADOR.	67
5.1.5 FORMA DE ESPECIFICACION DE INSTRUMENTOS DE NIVEL.	68
5.1.6 FORMA DE ESPECIFICACION DE INSTRUMENTOS DE PRESION.	69
5.2 DIRECCIONAMIENTO DE SEÑALES LOGICAS Y ANALOGICAS.	71
5.3 LISTA DE MATERIALES.	72
5.4 ESTIMADO DEL COSTO FIJO DEL PROYECTO.	73
5.5 RED DE CONTROL PROPUESTA.	76
5.5.1 DIAGRAMA DE RED DE CONTROL PROPUESTA.	77
6. SIMBOLOS UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DEL MODELO DINAMICO DEL SISTEMA.	78
7. CONCLUSIONES.	80
8. REFERENCIAS.	83

INTRODUCCION

En la actualidad la mayoría de los procesos químicos existentes tienden a optimizar sus formas de producción y por ello se vienen desarrollando nuevas formas de control de proceso, es decir cambiar el control convencional a sistemas de control basados en microprocesadores; ésto nos lleva a la utilización de técnicas más avanzadas de control que nos permiten obtener eficiencias mayores a las ya existentes. Hoy en día se hace uso de microprocesadores, algoritmos de control y de herramientas informáticas modernas.

El avance del conocimiento y de las técnicas en el control de procesos químicos ha dado como resultado la aparición de especialistas dentro de esta área. Actualmente es posible distinguir tres divisiones fundamentales, cada una con necesidades específicas de entrenamiento:

- El ingeniero en sistemas de control de procesos que requiere comprender a fondo desde un punto de vista teórico la dinámica, características y estabilidad de un ciclo de control. Su actividad está relacionada con el diseño de sistemas que pueden abarcar la totalidad de una planta, de manera que el proceso pueda ser regulado para cumplir con las especificaciones establecidas previamente.
- El tecnólogo en control de procesos que es el responsable del diseño y selección de los elementos específicos necesarios para implementar el sistema especificado por el ingeniero de control. Esto requiere del conocimiento del comportamiento mecánico, neumático y electrónico de las partes involucradas en un ciclo de control.
- El técnico en control de procesos encargado de la instalación y pruebas de todos los elementos del sistema, para lo cual deber saber como instalar y operar el equipo que forme parte del ciclo de control.

Se puede observar que el diseño, instalación, operación y mantenimiento de un sistema de control son actividades de naturaleza interdisciplinarias, en las cuales el ingeniero químico participa en mayor o menor grado.

Partiendo de estos hechos, resalta la importancia que tiene implementar equipo de control automático en los equipos de enseñanza de el laboratorio de ingeniería química de la Facultad de Química, permitiendo así la introducción de los alumnos a la manipulación y operación de sistemas de control. Este trabajo desarrolla los pasos necesarios para llevar a cabo la instalación de un sistema de control basado en microprocesadores para el sistema de transporte y calentamiento de un líquido en el laboratorio.

OBJETIVO: DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE NECESARIAS PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES PARA EL SISTEMA DE TRANSPORTE Y CALENTAMIENTO DE UN LIQUIDO INSTALADO EN EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA DE LA FACULTAD DE QUIMICA EN EL CUAL ALUMNOS DE DIVERSOS SEMESTRES PODRAN REALIZAR PRACTICAS DE ACUERDO A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS POR LOS PROFESORES DEL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.

En el capítulo 1 se presenta un pequeño resumen acerca de los controladores basados en microprocesadores.

En el capítulo 2 se realiza una descripción del sistema y una descripción de cómo se lleva a cabo la operación del sistema para la práctica de flujo de fluidos y transferencia de calor.

En el capítulo 4 se plantea la ingeniería básica del proyecto;

Datos básicos: Los valores característicos de los equipos del sistema son expuestos aquí.

Objetivos de control: Se especifican cuales son los objetivos de control del sistema, así como especificación de variables del sistema.

Definición de alarmas, límites, puntos fijos y entrelaces: Se exponen los límites dentro de los cuales deben estar los puntos fijos de los tanques y los puntos fijos de los intercambiadores de calor así como la lógica básica que deberá guardar el sistema con el equipo de control ya instalado.

Desarrollo del modelo dinámico del sistema: Se plantean las ecuaciones dinámicas del sistema, para llegar a la determinación de los grados de libertad.

Análisis de grados de libertad: Se incluye un resumen de qué son los grados de libertad y cómo se calculan, se analiza los grados de libertad del sistema.

Ecuaciones de control: Se incluye un resumen acerca de las ecuaciones de control así como las ecuaciones de control del sistema.

Configuraciones de control propuestas: Se incluye un resumen acerca de las posibilidades de configuraciones posibles y se expone de acuerdo a los grados de libertad del sistema las posibles configuraciones de control que pueden existir en el sistema.

Análisis del desempeño dinámico de las distintas configuraciones: Se presentan los resultados de la simulación programada para un punto fijo preestablecido para el sistema, así como una descripción de las distintas configuraciones.

Selección de la configuración de control: Se incluye un pequeño resumen acerca de los métodos de selección de configuración de control posibles y la selección de control del sistema.

Índice de instrumentos: Presenta las claves de los instrumentos de control, elementos primarios de control y elementos finales de control, así como los índices de tubería y tabla de accesorios actuales del sistema.

Diagrama de tubería e instrumentación: Representación gráfica de los instrumentos de control con el equipo ya instalado.

En el capítulo 5 se plantea la ingeniería de detalle mínima para la instalación del sistema de control

Formas de especificación de instrumentos elementos de control y válvulas de control: Especificación técnica de los elementos de control del sistema.

Direccionamiento de señales lógicas y analógicas: La relación de las señales de campo que entran y salen del equipo de control.

Lista de materiales: Se expone el material completo de la propuesta que deberá ser adquirido para el funcionamiento del sistema de control.

Estimado del costo del proyecto: Se cotiza todos los elementos expuestos en la lista de materiales.

Red de control propuesta: Propuesta de una red que involucre a varios equipos del laboratorio de ingeniería química.

2. GENERALIDADES SOBRE EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL BASADOS EN MICROPROCESADORES.

En los años setenta la tecnología de control e instrumentación dió un paso gigantesco cuando fueron introducidos al mercado los controladores digitales basados en microprocesadores dejando obsoleto el uso de controladores analógicos convencionales; el concepto de pistas de transmisión de datos, hizo obsoleto el diseño y los métodos de instalación de instrumentación y la versatilidad de pantallas compartidas de consolas del operador reemplazaron los costosos y rígidos pánales gráficos de control, indicadores, registradores y anunciadores. Antes de la salida al mercado de los equipos de control distribuido la mayoría de las computadoras fueron usadas como un equipo adicional en el sistema de control existente, fundamentalmente para almacenar datos, manipular información, como un sistema de control supervisorio o para realizar simulaciones.

Fueron muy pocas computadoras las que se instalaron como sistemas de control digital directo y centralizado (DDC), esto es, usando un solo sistema de computadora (conteniendo dos a tres unidades de procesamiento central) para reemplazar todos los instrumentos del cuarto de control incluyendo controladores, registradores, anunciadores, etc. Sin embargo esos primeros sistemas DDC no tuvieron mucho éxito debido al riesgo de pérdida de todos los controladores al mismo tiempo y al alto costo de instalación de computadoras, sistemas de respaldo y cableado.

Los equipos de control distribuido vinieron a cubrir todos esos problemas exitosamente.

El concepto de control distribuido engloba tres ideas básicas :

- 1.- Reemplazar los controladores e instrumentación analógica convencional con módulos controladores fácilmente configurables basados

en microprocesadores, en los cuales se desarrollan las funciones locales de control. Hay distribución del equipo y está localizado próximo al proceso que está siendo controlado. Esta distribución no sólo es espacial, sino también desde el punto de vista de las funciones de control.

2.-Una red de comunicación, que enlaza a los módulos de control y a las consolas de operador, para transmitir datos de proceso a alta velocidad entre éstos en ambas direcciones.

3.-La consola que es la interfase entre el proceso y el operador puede contener múltiples monitores que muestren una gran variedad de información que indique el comportamiento del proceso. Esta información puede ser desplegada en forma tabular, gráficas de tendencia o gráficos dinámicos que representen al proceso. Adicionalmente se puede contar con otros dispositivos de entrada y salida como son impresores, graficadores, teclados, ratones, etc.

4.-Unidades de almacenamiento masivo de datos, como son: unidades de cinta, discos duros y discos flexibles.

3. DESCRIPCION Y ANALISIS DE COMO SE LLEVA AL CABO LA OPERACION Y EL CONTROL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE Y CALENTAMIENTO DE UN LIQUIDO.

El sistema consta de dos operaciones: transporte y calentamiento de agua. Para la operación de transporte el sistema consta de dos tanques de plástico de almacenamiento de agua, uno colocado al nivel del piso y otro colocado a aproximadamente 2m arriba de él, para transportar el líquido del tanque inferior al tanque superior se cuenta con una bomba centrífuga, el sistema cuenta con un medidor de volumen que envía la bomba, el agua es alimentada al sistema mediante la tubería de red general de suministro de agua. Para la operación de calentamiento del líquido se tienen dos cambiadores de doble tubo, se cuenta también con medidores de temperatura de líquido y presión de vapor en ambos cambiadores. (Ver 2.1 diagrama del sistema en la página 10).

La técnica de operación actual se realiza de la siguiente forma:

Se cierra la válvula FV-103 y se abre la válvula LCV-102 completamente, permitiendo que todo el líquido que llega al tanque DA-102 se recircule al tanque DA-101. Se llena el tanque DA-101 con la válvula SV-101 abierta totalmente hasta un nivel indicado por el profesor, se cierra la válvula SV-101 y enseguida se pone a funcionar la bomba controlando manualmente con la válvula LCV-103 el flujo volumétrico que llega a DA-102, así para una posición de abertura de la válvula LCV-103 tendremos un flujo volumétrico en el sistema. Se deberá dejar que se estabilice el sistema aproximadamente 10 minutos.

Para medir el flujo volumétrico en el sistema a cada abertura de la válvula LCV-103 se deberá leer la indicación del medidor que marcará un volumen, entonces con un cronómetro se registrará el tiempo que marcó para dicho volumen leído en el medidor obteniéndose un valor de gasto.

Hecho ésto se tomarán mediciones de presión a la succión y a la descarga de la bomba así como la presión a través de la válvula LCV-103 . Este procedimiento se lleva a cabo con el fin de que los alumnos puedan calcular el trabajo que la bomba proporciona al sistema, las pérdidas por fricción en el sistema y el coeficiente de la válvula.

La operación de transferencia de calor del líquido en el sistema de transporte se ejecuta de la siguiente manera: se llena el tanque DA-101 hasta un nivel indicado por el profesor, abriendo la válvula SV-101. Se enciende la bomba, se controla el flujo en el sistema por medio de la válvula LCV-103 con una abertura indicada por el profesor; se abre la válvula FV-103 de tal manera que no haya recirculación y toda el agua se vaya al drenaje. Una vez hecho ésto se abre la válvula SV-101 y se trata de mantener un nivel constante en el tanque DA-101. Se abren las válvulas TCV-104 y TCV-105 permitiendo la entrada del vapor.

Se cierra la válvula FV-105. Se deja el sistema unos 15 minutos para que se trate de estabilizar. Se toman lecturas de presión en los indicadores a la entrada del cambiador de calor, así como la temperaturas de entrada y de salida del líquido de ambos cambiadores además se toma la lectura del gasto de condensado recolectado con ayuda de la columna de vidrio.

El objetivo de la práctica es que el alumno pueda practicar mediante un sistema sencillo los balances de energía mecánica, cálculo del trabajo suministrado por la bomba y la operación de transferencia de calor.

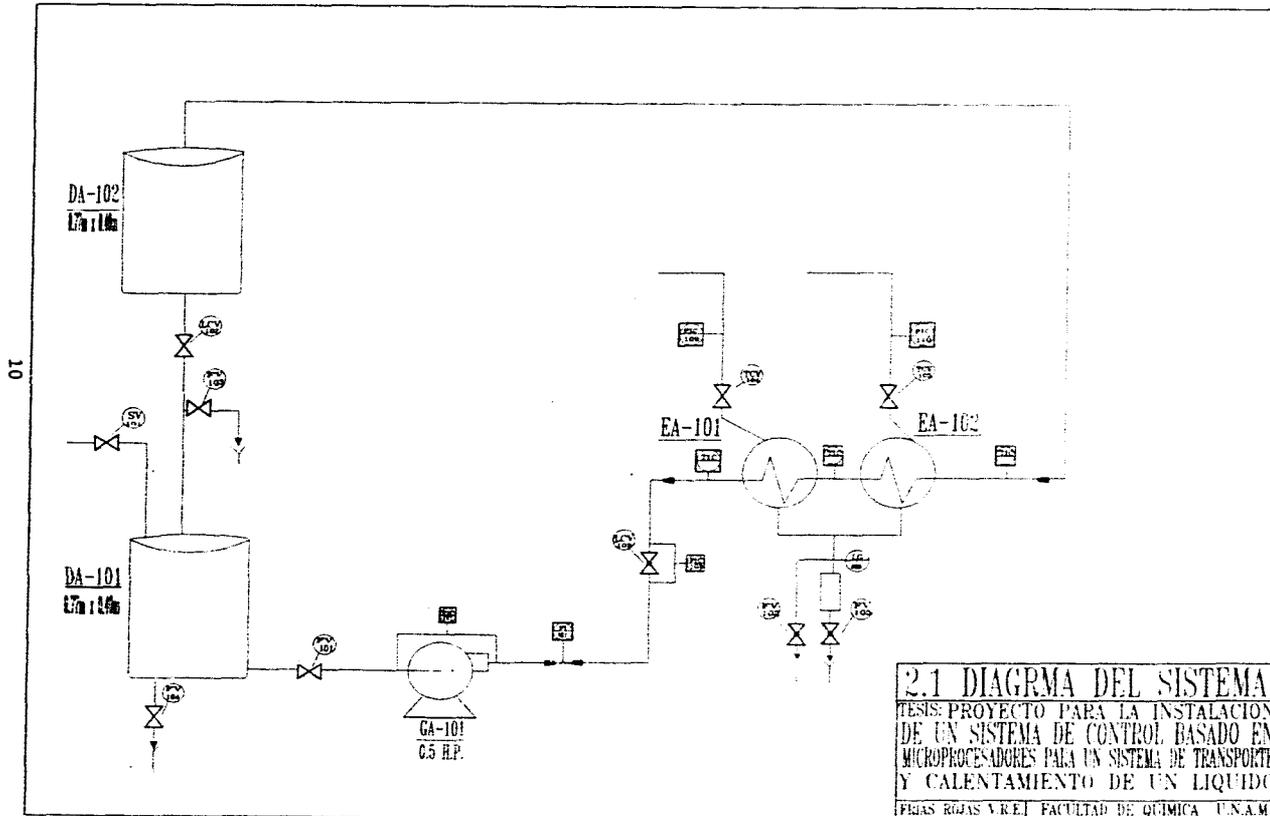
Para ello se le pide al alumno recolectar los siguientes datos:

CORRIDA No.	VOL. l	TIEMPO min	FLUJO $\frac{m^3}{s}$	BOMBA $\Delta P_{cañig}$	INTERCAMBIO		ALTURA m
					T_{ent}	T_{sal}	

Con los cuales deberá calcular el trabajo suministrado por la bomba, fricción en el sistema, coeficiente de la válvula, rangos y acercamientos que los intercambiadores de calor dan al líquido del sistema, coeficientes de transferencia de calor de los intercambiadores. La técnica de operación descrita la llevan a cabo actualmente alumnos que cursan las materias de balances de materia y energía, flujo de fluidos y transferencia de calor.

La operación actual del sistema no contempla la operación simultánea del equipo de transferencia de calor, con el equipo completo de flujo de fluidos (es decir si se opera el sistema para la práctica de flujo de fluidos hay recirculación pero los cambiadores de calor no operarán, si se opera la práctica de transferencia de calor no habrá recirculación al tanque DA-101), debido a que la recirculación crea un sistema muy inestable, logrando una recolección de datos altamente ineficiente.

La operación actual de el equipo se lleva a cabo manualmente mediante la manipulación de las válvulas SV-101, LCV-102, LCV-103, TCV-104, TCV-105 y FV-105.



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

MEJORAS EN LA OPERACION DEL SISTEMA

La instalación de un equipo de control en el sistema de transporte y calentamiento de un líquido permitirá implementar un sistema de arranque que llevará los tanques DA-101 y DA-102 automáticamente hasta un nivel definido por el usuario, incluyendo alarmas de alto nivel en los tanques DA-101 y DA-102 y alarma de bajo nivel en el tanque DA-101. Abrirá automáticamente las válvulas de vapor TCV-104 y TCV-105 una vez que los niveles en los tanques DA-101 y DA-102 alcancen el nivel deseado y exista un flujo de agua a través de los cambiadores, abrirán las válvulas de vapor de tal manera que se alcance y se mantenga la temperatura deseada del líquido en el sistema mediante el control de ellas. Implementará un sistema de paro general del sistema tomando las medidas adecuadas para que se ejecute de una forma correcta.

De esta manera se disminuirá el riesgo de derramamientos en los tanques DA-101 y DA-102, evitando que los alumnos tengan que subir a la plataforma. Evitará que se encienda la bomba si no existe el nivel mínimo necesario en el tanque DA-101, previniendo que la bomba se dañe por cavitación. Abrirá las válvulas de vapor en el momento correcto y con el flujo necesario para alcanzar la temperatura en el sistema introducida por el usuario. De esta forma se evitará un uso innecesario de agua y de vapor de agua en el sistema mediante control automático, además operará en forma simultánea el equipo de transferencia de calor con el equipo de flujo de fluidos, con datos correctos que permitirán al alumno de las materias de flujo de fluidos y transferencia de calor efectuar los cálculos solicitados por el profesor, además conocer y manejar un sistema automatizado.

Adicionalmente permitirá a alumnos de semestres posteriores en materias como Simulación y optimación de proceso, Dinámica y control de proceso, etc. adquirir conocimiento práctico en los siguientes temas:

- ADQUISICION DE DATOS.
- IDENTIFICACION DE PROCESOS.
- CONTROL SUPERVISORIO.
- CONTROL AVANZADO.
- PROGRAMACION DE SECUENCIAS LOGICAS DE CONTROL.
- CALCULO DE PARAMETROS.
- VARIACION DE CONDICIONES DE OPERACION EN FORMA AUTOMÁTICA.
- OPTIMACION.
- SIMULACION.

4. INGENIERIA BASICA

4.1 DATOS BASICOS

• Descripción del equipo del sistema:

-Tanque DA-101: Plástico capacidad 120 lts (0.120 m³). Salida a drenaje.
Coeficiente de transferencia de calor con respecto al ambiente y sin contar la base: 0.61 KW/m²⁰C.
Diámetro promedio: 50cm(0.5m). T.T.: 77cm(0.77m).

-Tanque DA-102: Plástico capacidad 120 lts (0.120 m³).
Coeficiente de transferencia de calor con respecto al ambiente.: 0.61 KW/m²⁰C.
Diámetro promedio: 50cm(0.5m). T.T.: 77cm(0.77m).

-Bomba GA-101: Tipo centrífuga de 1/2 HP.
Indicadores: presión diferencial.

-Indicador de flujo tipo rotámetro.

-Cambiador EA-101: De tubos concéntricos (o doble tubo).
Posición: Horizontal.
Diámetro nominal en la coraza: 7.62cm (0.0762m).
Diámetro nominal en el Tubo: 1.905cm (0.01905m).
Régimen de trabajo: Paralelo.
Indicadores: Presión y temperatura.
Area de tranferencia de calor: 0.014961 m²

-Cambiador EA-102: De tubos concéntricos (o doble tubo).
Posición:Horizontal.
Diámetro nominal en la coraza: 7.62cm (0.0762m).
Diámetro:Nominal en el Tubo: 1.905cm (0.01905m).
Régimen de trabajo: Contracorriente.
Indicadores: Presión y temperatura.
Area de tranferencia de calor: 0.014961 m²

-TUBERIA DEL SISTEMA ACERO AL CARBON DIAMETRO EXTERNO :2.5cm(0.025m)
3.27cm(0.0327m)

• SERVICIOS.

-Vapor saturado de baja presión de 4 Kgr/cm².
-Agua de red general.

4.2 OBJETIVOS DE CONTROL.

- Llevar y mantener a un nivel fijo al tanque DA-101.
- Llevar y mantener a un nivel fijo al tanque DA-102.
- Llevar y mantener al sistema a una temperatura constante a lo largo de la operación.

Establecidos los objetivos de control debemos especificar las variables que existen en un proceso químico y éstas se clasifican en 2 tipos: variables de entrada y variables de salida.

Las variables de entrada pueden ser clasificadas como:

- Manipulables (o ajustables): Este tipo de variables son aquellas que sus valores pueden ser ajustados libremente por un operador o por un sistema de control, típicamente líneas de corrientes que entran o dejan el proceso.
- Perturbaciones: Este tipo de variables son aquellas cuyos valores no son resultado de un ajuste de un operador o un sistema de control. Un buen diseño de sistema de control debe ser capaz de mantener la planta bajo control no obstante éstas.

Las variables de salida pueden ser clasificadas como:

- Variables medibles: Son aquellas cuyos valores son conocidos por medición directa de ellos.
- Variables no medibles: Son aquellas cuyos valores no pueden ser conocidos por medición directa de ellos.

Las variables que necesitamos medir en un proceso químico se clasifican en dos tipos.

- Mediciones primarias: Monitorean directamente las variables que representan nuestros objetivos de control.
- Mediciones secundarias: Cuando nuestros objetivos de control no son medibles, es decir pertenecen al tipo de variables no medibles, su

valor es conocido por medio de funciones que relacionan a la medición con otras primarias.

Especificación de variables para el sistema.

Las variables manipulables disponibles para el sistema son:

- Flujo de salida de DA-101.
- Flujo de alimentación a DA-101.
- Flujo de salida de DA-102.
- Gasto de vapor en EA-101.
- Gasto de vapor en EA-102.

Especificación de variables controladas en el sistema.

- Altura en el tanque DA-101.
- Altura en el tanque DA-102.
- Temperatura de salida en EA-101
- Temperatura de salida en EA-102.

4.3 DEFINICION DE ALARMAS, LIMITES, PUNTOS FIJOS Y ENTELACES.

Descripción del proceso:

Se abre la válvula SV-101 llenando el tanque DA-101 a un nivel mínimo de 40cm(0.4m), se enciende la bomba GA-101, se empezará a llenar el tanque DA-102, la válvula LCV-102 estará cerrada hasta alcanzar el nivel de punto fijo en el tanque, con la válvula LCV-103 se regula el flujo que llega a DA-102, una vez que se alcance el volumen equivalente total en el sistema se cerrará la válvula SV-101, cuando los tanques alcanzaron su nivel de punto fijo, las válvulas de vapor TCV-104 y TCV-105 se abrirán completamente permitiendo que el líquido del sistema llegue a la temperatura requerida.

Con la descripción del sistema podemos definir los límites, puntos fijos, alarmas y entrelaces.

Límites: El nivel en el tanque DA-101 debe tener un nivel mínimo de 40cm(0.4m), los niveles en los tanques DA-101 y DA-102 no deben exceder el nivel de 70cm(0.70m).

Alarmas: Debe accionarse cuando el nivel en el tanque DA-101 sea igual o menor a 40cm(0.4m) (ésta estará presentada en la pantalla).

Alarmas: Debe accionarse cuando el nivel en el tanque DA-101 o DA-102 sea igual o mayor a 0.70m (ésta estará presentada en la pantalla).

Entrelaces: La bomba no debe funcionar hasta que exista un nivel mínimo de 40cm(0.4m) en el tanque DA-101.

Entrelaces: La válvula TCV-104 no debe abrir hasta que el cambiador EA-101 esté completamente inundado y exista flujo a través de él.

Entrelaces: La válvula TCV-105 no debe abrir hasta que el cambiador EA-102 esté completamente inundado y exista flujo a través de él.

Entrelaces: La bomba no debe parar hasta que cierren la válvulas SV-102 y SV-103.

A continuación se proporcionan los intervalos dentro de los cuales deben estar los puntos fijos, éstos son seleccionados por el usuario de acuerdo a los objetivos de la práctica.

Puntos fijos: El punto fijo en el tanque DA-101 no debe ser menor a 40cm(0.4m) y no debe ser mayor a 70cm(0.70m).

Puntos fijos: El punto fijo en el tanque DA-102 no debe ser mayor a 70cm(0.70m).

Puntos fijos: El punto fijo del cambiador EA-101 o EA-102 no debe ser menor a 25°C y no debe ser mayor a 150°C.

4.4 DESARROLLO DEL MODELO DINAMICO DEL SISTEMA

El desarrollo del modelo dinámico del sistema se desarrollará para conocer la tendencia del sistema bajo condiciones controladas y lo utilizaremos para llegar a la determinación de los grados de libertad.

Para llegar a ello partiremos del balance de energía mecánica en estado no estacionario.

$$\frac{d(K_{TOT} + \Phi_{TOT})}{dt} = -\Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 + g z + \frac{P}{\rho} \right) w \right] + \left[\left(\sum E_F - \sum E_A + W_s \right) w \right] \dots (1)$$

Suponiendo que no existe variación de energía potencial a lo largo del sistema debido a que se considerará que la tubería se encuentra llena en cualquier momento $\frac{d\Phi_{TOT}}{dt} = 0$, entonces:

$$\frac{d K_{TOT}}{dt} = -\Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 + g z + \frac{P}{\rho} \right) w \right] + \left[\left(\sum E_F - \sum E_A + W_s \right) w \right] \dots (1.1)$$

Dada la consideración anterior trabajaremos con el término de energía cinética del lado izquierdo de la ecuación de balance de energía mecánica (1.1) que por definición es :

$$K = \int_0^l \frac{1}{2} \rho v^2 A dl \dots (2)$$

Donde

$$K_{TOT} = \sum_{i=1}^N K_i = \sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} \frac{1}{2} \rho_i v_i^2 A_i dl_i \dots (2.1)$$

Y considerando a $\rho_i = \text{cte}$ a lo largo del sistema debido a que no se considerará cambio de fase a lo largo de la tubería y los cambios que éste pudiera tener se considerarán despreciables en el análisis de este trabajo. Entonces nos queda:

$$K_{TOT} = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} v_i^2 A_i dl_i \dots (2.2)$$

El sistema cuenta con un cambio de diámetro a lo largo del sistema, considerando que no hay acumulación a lo largo del sistema, podemos referirlo a uno de ellos utilizando la ecuación de continuidad. $F_i = F_j$, $A_i v_i = A_j v_j$, El subíndice j será el diámetro de referencia.

entonces $v_i = \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)$ y substituyendo en K_{TOT}

$$K_{TOT} = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)^2 A_i dl_i \quad \dots (2.3)$$

integrando la expresión queda:

$$K_{TOT} = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)^2 l_i \quad \dots (2.4)$$

Substituyendo k_{TOT} en la diferencial original nos queda :

$$\frac{d}{dt} K_{TOT} = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)^2 \frac{d(v_j)^2}{dt} \quad \dots (2.5)$$

Y como la derivada de v_j^2 es : $2v_j \frac{dv_j}{dt}$ la expresión de la variación de la energía cinética total con respecto al tiempo es:

$$\frac{d}{dt} K_{TOT} = \frac{1}{2} \rho A_j^2 \left(\sum_{i=1}^N \frac{l_i}{A_i} \right) 2v_j \frac{dv_j}{dt} \quad \dots (2.6)$$

Simplificando:

$$\frac{d}{dt} K_{TOT} = \rho A_j^2 \left(\sum_{i=1}^N \frac{l_i}{A_i} \right) v_j \frac{dv_j}{dt} \quad \dots (2.7)$$

Donde N se refiere a el balance aplicado en el último tramo de tubería del balance de energía, e i se refiere a los tramos donde hay cambio de diámetro, en el sistema de transporte y calentamiento de un líquido sólo hay un cambio de diámetro entonces: $N = 2$.

Trabajando ahora el lado derecho de la ecuación (1.1), desarrollando el término de energía cinética tenemos:

$$- \Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 \right) w \right] = - \left[\frac{1}{2} v_N^2 w_N - \frac{1}{2} v_1^2 w_1 \right] \quad \dots (3)$$

Donde $w = \rho v A$, entonces:

$$- \Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 \right) w \right] = - \left[\frac{1}{2} v_N^2 \rho v_N A_N - \frac{1}{2} v_1^2 \rho v_1 A_1 \right] \quad \dots (3.1)$$

Factorizando:

$$- \Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 \right) w \right] = - \frac{1}{2} \rho \left[v_N^3 A_N - v_1^3 A_1 \right] \quad \dots (3.2)$$

Pero $v_i = \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)$ Substituyendo:

$$- \Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 \right) w \right] = - \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{A_j v_j}{A_N} \right)^3 A_N - \left(\frac{A_j v_j}{A_1} \right)^3 A_1 \right] \quad \dots (3.3)$$

Simplificando:

$$- \Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 \right) w \right] = - \frac{1}{2} \rho \left[A_J v_J^3 \frac{A_N}{A_N^2} - A_I v_I^3 \frac{A_I}{A_I^2} \right] \dots (3.4)$$

$$- \Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 \right) w \right] = - \frac{1}{2} \rho \left[\frac{A_J^3 v_J^3}{A_N^2} - \frac{A_I^3 v_I^3}{A_I^2} \right] \dots (3.5)$$

Factorizando:

$$- \Delta \left[\left(\frac{1}{2} v^2 \right) w \right] = - \frac{\rho}{2} A_J^3 v_J^3 \left[\frac{1}{A_N^2} - \frac{1}{A_I^2} \right] \dots (3.6)$$

Desarrollando ahora el término por energía potencial tenemos:

$$- \Delta \left[(gz) w \right] = - (g z_{II} w_N - g z_I w_I) \dots (4)$$

donde $w = \rho v A$ además I es inicial y II es final entonces:

$$- \Delta \left[(gz) w \right] = - (g z_{II} \rho_N v_N A_N - g z_I \rho_I v_I A_I) \dots (4.1)$$

Pero $v_i = \left(\frac{A_J v_J}{A_I} \right)$

$$- \Delta \left[(gz) w \right] = - (g z_{II} \rho_N \left(\frac{A_I v_J}{A_N} \right) A_N - g z_I \rho_I \left(\frac{A_J v_J}{A_I} \right) A_I) \dots (4.2)$$

Simplificando y como ρ es cte. a lo largo del sistema $\rho_N = \rho_I = \rho$:

$$- \Delta \left[(gz) w \right] = - (g z_{II} \rho A_J v_J - g z_I \rho v_I A_I) \dots (4.3)$$

Factorizando:

$$- \Delta \left[(gz) w \right] = -g \rho A_J v_J (z_{II} - z_I) \dots (4.5)$$

Ahora trabajaremos el término por presión en el sistema

$$- \Delta \left(\frac{P}{\rho} \right) w = \left(\frac{P_{II}}{\rho_I} \rho_N v_N A_N - \frac{P_I}{\rho_I} \rho_I v_I A_I \right) \dots (5)$$

La presión existente en I es la presión atmosférica mas la carga hidráulica que ocasiona el nivel en el tanque DA-101, además $\rho_I = \rho_N = \rho_I$ entonces.

$$-\Delta \left(\frac{P}{\rho} \right) w = - \left[P_{atm} \left(\frac{A_j v_j}{A_N} \right) A_N - P_{atm} \left(\frac{A_j v_j}{A_1} \right) A_1 - \rho g h \left(\frac{A_j v_j}{A_1} \right) A_1 \right] \dots (5.1)$$

simplificando y factorizando tenemos:

$$-\Delta \left(\frac{P}{\rho} \right) w = - v_j A_j (-\rho g h) \dots (5.2)$$

$$\boxed{-\Delta \left(\frac{P}{\rho} \right) w = (\rho g h v_j A_j)} \dots (5.3)$$

La ecuación de trabajo suministrado por la bomba es:

$$W_b = [\alpha - \beta Q^n] * w / \rho \dots (6)$$

pero $Q = A_j * v_j$ entonces:

$$W_b = [\alpha - \beta (A_j v_j)^n] * w / \rho \dots (6.1)$$

pero $w = \rho v A$ entonces:

$$\boxed{W_b = [\alpha - \beta (A_j v_j)^n] * v_j A_j} \dots (6.2)$$

Ahora el análisis de pérdidas por fricción en longitud de tubería.

$$-\sum E_f = -\sum_{i=1}^N w_i \left(\frac{1}{2} v_i^2 \frac{l_i}{R_h} f_i \right) \dots (7)$$

pero $w_i = v_i \rho_i A_i$

$$-\sum E_f = -\sum_{i=1}^N v_i \rho_i A_i \left(\frac{1}{2} v_i^2 \frac{l_i}{R_h} f_i \right) \dots (7.1)$$

Además $v_i = \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)$ substituyendo queda:

$$-\sum E_f = -\sum_{i=1}^N \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right) \rho_i A_i \frac{1}{2} \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)^2 \frac{l_i}{R_h} f_i \dots (7.2)$$

Substituyendo el radio hidráulico, $R_h = D/4$ en la ecuación tenemos:

$$-\sum E_f = -\sum_{i=1}^N 2 A_j v_j \rho \frac{A_j^2 v_j^2}{A_i^2} \frac{l_i}{d_i} f_i \dots (7.3)$$

$$\boxed{-\sum E_f = -2 A_j^3 v_j^3 \rho \sum_{i=1}^N \frac{l_i f_i}{A_i^2 d_i}} \dots (7.4)$$

El análisis de las pérdidas en accesorios es:

$$- \sum_{i=1}^N E_A = - \sum_{i=1}^N w_i \left(\frac{1}{2} v_i^2 K_i \right) \dots (8)$$

pero $w_i = v_i \rho_i A_i$ y $v_i = \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)$ substituyendo queda:

$$- \sum_{i=1}^N E_A = - \sum_{i=1}^N \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right) \rho_i A_i \left(\frac{1}{2} \left(\frac{A_j v_j}{A_i} \right)^2 K_i \right) \dots (8.1)$$

simplificando queda:

$$- \sum_{i=1}^N E_A = - \frac{\rho}{2} \frac{A_j^3 v_j^3}{A_i^2} \sum_{i=1}^N K_i \dots (8.2)$$

Hecho el análisis de todos los componentes originales de la ecuación de balance macroscópico de energía mecánica los sustituimos.

$$\begin{aligned} \rho A_j^2 \left(\sum_{i=1}^N \frac{l_i}{A_i} \right) v_j \frac{dv_j}{dt} &= - \frac{\rho}{2} A_j^3 v_j^3 \left[\frac{1}{A_N^2} - \frac{1}{A_1^2} \right] - g \rho A_j v_j (z_{11} - z_1) \\ &\quad - \rho g v_j A_j h + [\alpha - \beta (A_j v_j)^n] v_j A_j \\ &\quad - 2 A_j^3 v_j^3 \rho \sum_{i=1}^N \frac{l_i f_i}{A_i^2 di} - \frac{\rho}{2} \frac{A_j^3 v_j^3}{A_i^2} \sum_{i=1}^N K_i \dots (9) \end{aligned}$$

Factorizando y dividiendo toda la ecuación entre A_j , ρ y v_j :

$$\begin{aligned} A_j \left(\sum_{i=1}^N \frac{l_i}{A_i} \right) \frac{dv_j}{dt} &= - \frac{A_j^2 v_j^2}{2} \left[\frac{1}{A_N^2} - \frac{1}{A_1^2} \right] + g(h - \Delta z) + [\alpha - \beta (A_j v_j)^n] / \rho \\ &\quad - 2 A_j^2 v_j^2 \sum_{i=1}^N \frac{l_i f_i}{A_i^2 di} - \left(\frac{A_j^2 v_j^2}{2 A_i^2} \sum_{i=1}^N K_i \right) \dots (9.1) \end{aligned}$$

Expresión gral. para un sistema de transporte con "N" tramos de tubería y con "i" cambios de diámetro en dichos tramos de tubería, con trabajo de bomba. Para el desarrollo de las ecuaciones en el sistema "1" partiremos de la ecuación general 9.1. Este sistema tiene un tramo de tubería y no tiene cambio de diámetro, por lo tanto el cambio de energía cinética es igual a cero. Además en esta parte del sistema no existe trabajo de la bomba por lo que $w_b = 0$. (Ver diagrama 4.4.1 página 23)

Aplicando estas consideraciones en la ecuación gen. 9.1 tenemos:

$$A_j \left(\sum_{i=1}^N \frac{1_i}{A_i} \right) \frac{dv_j}{dt} = g(h+\Delta z) - \left[2 A_j^2 v_j^2 \sum_{i=1}^N \frac{1_i f_i}{A_i^2 d_i} \right] - \left(\frac{A_j^2 v_j^2 \sum_{i=1}^N K_i}{2 A_i^2} \right) \dots (10)$$

Para calcular el factor de fricción utilizaremos la correlación de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.869 \ln \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.523}{Re \sqrt{f}} \right) \dots (11)$$

El siguiente paso es desarrollar las ecuaciones relacionadas con los tanques para ello utilizaremos la ecuación de continuidad del líquido en el tanque. Tenemos entonces:

$$\frac{dV_T}{dt} = \sum_{i=1}^N F_{Ei} - \sum_{i=1}^M F_{Si} \dots (12)$$

Dado que nos interesa conocer el nivel en el tanque y considerando que el área del tanque no cambia utilizamos la relación $V_T = A_T * h$, nuestra ecuación de variación de nivel con respecto al tiempo en el tanque queda como sigue:

$$\frac{dh}{dt} = \left(\frac{\sum_{i=1}^N A_i v_i}{A_T} \right)_E - \left(\frac{\sum_{i=1}^M A_i v_i}{A_T} \right)_S \dots (12.1)$$

Expresión general de balance de materia para los tanques del sistema con "N" tubos de entrada al tanque y "M" tubos de salida al tanque. Este balance aplica para los dos tanques del sistema.

Ahora analizaremos los balances de energía involucrados en el sistema, como sigue: Consideraremos que el transcurso de línea 3.27P102AC a 3.27P106AC al que llamaremos tubo 1 tendrá pérdidas de calor con respecto a la temperatura ambiente (T_{amb}), debido a que no está aislada

éstas estarán consideradas por el balance de calor siguiente:

$$\frac{dT_{\text{tubo1}}}{dt} = \left[(\rho F_{\text{tubo1}} C_p \Delta T_1) - (A_{\text{tubo1}} h_r \Delta T_M) \right] / \rho V_{\text{tubo1}} C_p \quad \dots (13)$$

ΔT_1 = Temperatura de entrada del tanque DA-101 - temperatura de salida del tubo 1

$$\Delta T_1 = T_{TAN1} - T_{\text{tubo1}}$$

$$\Delta T_M = ((T_{TAN1} - T_{amb}) + (T_{\text{tubo1}} - T_{ramb})) / 2$$

h_r es el coeficiente de transferencia térmica del tubo, V_{tubo1} es el volumen contenido en el tramo de tubo 1.

Ahora analizaremos el transcurso de línea 3.27P108AC a 2.5P109AC al que llamaremos tubo 2 tendrá pérdidas de calor con respecto a la temperatura ambiente (T_{amb}), debido a que no está aislada éstas estarán consideradas por el balance de calor siguiente:

$$\frac{dT_{\text{tubo2}}}{dt} = \left[(\rho F_{\text{tubo2}} C_p \Delta T_2) - (A_{\text{tubo2}} h_r \Delta T_M) \right] / \rho V_{\text{tubo2}} C_p \quad \dots (13.1)$$

ΔT_2 = Temperatura de salida del camb EA-102 - temperatura de salida del tubo 2

$$\Delta T_2 = T_{EA-102} - T_{\text{tubo2}}$$

$$\Delta T_M = ((T_{CAM2} - T_{amb}) + (T_{\text{tubo2}} - T_{ramb})) / 2$$

h_r es el coeficiente de transferencia térmica del tubo, V_{tubo2} es el volumen contenido en el tramo de tubo 2. Flujo del tubo 2 = flujo del tubo1, $F_{\text{tubo1}} = F_{\text{tubo2}} = A_j * v_{j1}$, éstos se resuelven con ec (9.1).

Ahora analizaremos el transcurso de línea 3.27P110AC al que llamaremos tubo 3 tendrá pérdidas de calor con respecto a la temperatura ambiente (T_{amb}), debido a que no está aislada éstas estarán consideradas por el balance de calor siguiente:

$$\frac{dT_{\text{tubo3}}}{dt} = \left[(\rho F_{\text{tubo3}} C_p \Delta T_3) - (A_{\text{tubo3}} h_r \Delta T_M) \right] / \rho V_{\text{tubo3}} C_p \quad \dots (13.2)$$

ΔT_3 = Temperatura de salida del tanque DA-102 - temperatura de salida del tubo 3

$$\Delta T_3 = T_{TAN2} - T_{\text{tubo3}}$$

$$\Delta T_M = ((T_{TAN2} - T_{amb}) + (T_{\text{tubo3}} - T_{ramb})) / 2$$

h_r es el coeficiente de transferencia térmica del tubo, V_{tubo3}

es el volumen contenido en el tramo de tubo3

El $F_{tubo3} = a_j * v_j$ se resuelve mediante la ec (10)

El siguiente paso es determinar las ecuaciones de balance de calor correspondientes a los tanques, para ello consideraremos que el flujo de entrada a los dos tanques es lo suficientemente fuerte, de tal manera que se consideren tanques con agitación y así aplicar el balance de calor sin considerar perfiles de temperaturas dentro de cada uno de los dos tanques entonces:

para el tanque DA-101 tenemos:

$$\frac{dT_{DA-101}}{dt} = \left[(\rho F_{EDA-101} C_p \Delta T_{T11}) + (\rho F_{tubo3} C_p \Delta T_{T12}) - (A_{TAN} hr \Delta T_M) \right] / \rho V_T C_p \quad \dots (14)$$

Se considera que la corriente de entrada tiene temperatura ambiente entonces:

$$\Delta T_{11} = (T_{DA-101} - T_{amb})$$

$$\Delta T_{12} = (T_{DA-101} - T_{TUBO3})$$

$$\Delta T_M = (T_{DA-101} - T_{amb})$$

A_T es el área de tanque, hr el coeficiente de transferencia térmica del material del tanque, V_T se refiere al volumen de líquido en el tanque.

Ahora para el tanque DA-102 tenemos:

$$\frac{dT_{DA-102}}{dt} = \left[(\rho F_{tubo2} C_p \Delta T_{T2}) - (A_T hr \Delta T_{M2}) \right] / \rho V_T C_p \quad \dots (14.1)$$

$$\Delta T_2 = (T_{TAN2} - T_{TUBO2})$$

$$\Delta T_M = (T_{TAN1} - T_{amb})$$

$$\Delta T_{M2} = (T_{TAN2} - T_{amb})$$

A_T es el área de tanque, hr el coeficiente de transferencia térmica del material del tanque, V_T se refiere al volumen del tanque.

Conociendo los balances de energía de todo el sistema podemos entonces definir y homologar quienes son las corrientes de alimentación y salida en todo el sistema:

$$T_{tubo2} = T_{EDA-102}, T_{EDA-101} = T_{tubo3}, T_{SDA-101} = T_{tubo1},$$

$$T_{SEA-102} = T_{tubo2}, T_{tubo1} = T_{EEA-101}, T_{SEA-101} = T_{EEA-102},$$

$$T_{SDA-102} = T_{TUBO3}.$$

Por el lado del cabezal de vapor tenemos el siguiente balance de materia:

$$\frac{VM}{RT} \frac{dP}{dt} = W_i - Q_r \dots (15)$$

La diferencial de presión nos indica que no todo el vapor que entra al cambiador se condensa instantaneamente, Q_r representa el calor cedido por el vapor, entre el calor latente de vaporización, W_i es el gasto de vapor dentro del cambiador, $V M / R T$ representa la ecuación de gas ideal para la cantidad de vapor que entra al cambiador, T es la temperatura del vapor y está en función de la presión. Esta relación de presión contra temperatura se obtiene mediante regresión polinomial, tomando datos de tablas de vapor. Tomando datos suficientes podemos obtener tres relaciones dentro de tres distintos intervalos de operabilidad del equipo y estos son para presiones :

• Menor o igual a 1 Kg/cm² tenemos:

$$T_{v(1)} = 36.62564679 + (73.57507744 * P) - (20.701892415 * P^2) \dots (15.1)$$

• Para un rango mayor que 1 y menor o igual que 2.27 Kg/cm² tenemos:

$$T_{v(2)} = 96.35556386999 + (-0.33052795 * P) + (5.713377132 * P^2) \dots (15.2)$$

• Para un rango mayor a 2.27 y hasta 4 Kg/cm² tenemos:

$$T_{v(3)} = 103.1693524 + (9.835982167999 * P) + (0.0016985541 * P^2) \dots (15.3)$$

Pero como las temperaturas están dadas en función de las presiones al sustituirlas dentro de la ecuación de balance de materia, éstas se deben derivar con respecto a la presión.

Derivando las relaciones anteriores tenemos :

• Presiones menor o igual a 1 Kg/cm²:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{v(1)}}{dP} &= 36.62564679 + (73.57507744 * (P + 1)) - \\ &(20.701892915 * (P + 1)^2) - ((P + 1) * (73.57507744) - \\ &(2 * 20.70182915 * (P + 1))) / (36.62564679 + \\ &(73.57507744 * (P + 1)) - (20.701892915 * (P + 1)^2))^2 \dots (15.4) \end{aligned}$$

• Para un rango mayor que 1 y menor o igual que 2.27 Kg/cm² tenemos:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{v(2)}}{dP} &= 96.35556486999999 + (-0.033052795 * (P + 1)) + \\ &(5.713377432 * (P + 1)^2) - ((P + 1) * (-0.033052795) \\ &+ (2 * 5.713377432 * (P + 1))) / (96.35556486999999 + \\ &(-0.033052795 * (P + 1)) + (5.713377432 * (P+1)^2))^2 \dots (15.5) \end{aligned}$$

- Para un rango mayor A 2.27 y hasta 4 Kg/cm² tenemos:

$$\frac{dT_V^{(3)}}{dP} = 103.1693524 + (9.835982167999999 * (P + 1)) + (0.001698554159 * (P + 1)^2) - ((P + 1) * (9.835982167999999 + (0.001698554159 * (P + 1)))) / (103.1693524 + (9.835982167999999 * (P + 1)) + (0.001698554159 * (P + 1)^2))^2 \dots (15.6)$$

Dado que estas ecuaciones parten del desarrollo de una ecuación de estado, las presiones que se sustituyan en ellas deben estar en unidades absolutas, así como las diferenciales de la temperatura deben estar en unidades absolutas.

Entonces la ecuación de balance en el lado de la coraza se convierte a:

$$\frac{dP}{dt} = \left[W_i - Q_T \right] + \left[\frac{V M \cdot}{R} \frac{dT_V^{(1)}}{dP} \right] \dots (16)$$

Donde λ es el calor latente del vapor, W_i es función de la abertura de la válvula, V es el volumen del cambiador, R la cte gral. de los gases, M es el peso molecular del vapor de agua.

$$Q_T = A_c U \Delta T_{ML} / \lambda.$$

Esta ecuación aplica para EA-101 y para EA-102 con la diferencia del ΔT_{ML} por el régimen de trabajo, así para EA-101 tenemos régimen paralelo por lo que su ΔT_{ML} es:

$$\Delta T_{MLEA-101} = \frac{(T_{V(1)EA-101} - T_{EA-101}) - (T_{V(1)EA-101} - T_{tub01})}{\ln \frac{(T_{V(1)EA-101} - T_{EA-101})}{(T_{V(1)EA-101} - T_{tub01})}} \dots (16.1)$$

Para el EA-102 tenemos un régimen de trabajo a contracorriente por lo que su ΔT_{ML} es:

$$\Delta T_{MLEA-102} = \frac{(T_{V(1)EA-102} - T_{EA-102}) - (T_{V(1)EA-102} - T_{EA-101})}{\ln \frac{(T_{V(1)EA-102} - T_{EA-102})}{(T_{V(1)EA-102} - T_{EA-101})}} \dots (16.2)$$

Donde $T_v(t)$ representa la temperatura del vapor dentro de los cambiadores EA-101 y EA-102 resuelta mediante las expresiones de temperatura de vapor para cada rango de presión según sea el caso. Cabe indicar que T_v en EA-101 y EA-102 son diferentes, estas temperaturas de vapor estarán en función de la apertura de las válvulas TCV-104 y TCV-105 .

El siguiente paso es el análisis de los modelos dinámicos de los dos cambiadores que intervienen en este sistema. Para ello partiremos del balance macroscópico de energía en estado no estacionario.

$$\frac{d}{dt} (U_{TOT} + K_{TOT} + \Phi_{TOT}) = - \Delta \left[(\dot{U} + p \dot{U} + \frac{1}{2} v^2 + \Phi) W \right] + Q - W \quad \dots (17)$$

Las variaciones de K_{TOT} y Φ_{TOT} se considerarán despreciables así como los cambios de energía cinética y potencial, la magnitud $\dot{U} + p \dot{U}$ corresponde a la entalpía por unidad de masa, además se considerará que el trabajo producido por unidad de masa del fluido al pasar a través del cambiador es nulo. Por lo que la expresión se reduce a:

$$\frac{d}{dt} (U_{TOT}) = - \Delta \left[\dot{U} + p \dot{U} \right] + Q \quad \dots (17.1)$$

$$\frac{d}{dt} (U_{TOT}) = - \Delta H + Q \quad \dots (17.2)$$

El calor transferido Q se define como $Q = AU\Delta T_M$, la entalpía se define como $H = \rho F C_p \Delta T$, La energía interna se define como $U_{TOT} = \int_V \rho \dot{U} dV$.

Al integrar esta expresión y substituyendo en el balance tenemos la expresión gral de balance de energía :

$$\rho V C_p \frac{dT}{dt} = \rho F C_p (\Delta T) + AU\Delta T_M \quad \dots (17.3)$$

Esta ecuación se aplica a los dos tubos de los dos cambiadores de calor, con la diferencia del régimen de trabajo entonces Para el cambiador EA-101:

$$\rho_{VEA-101} C_p \frac{dT_{EA-101}}{dt} = \rho_{tubo1} F_{tubo1} C_p (\Delta T_{EA-101}) + A U \Delta T_{M,EA-101}$$

$$\Delta T_{EA-101} = (T_{EA-101} - T_{tub01})$$

El régimen de trabajo de éste es en paralelo por lo tanto el ΔT_{ML} que le corresponde es el siguiente :

$$\Delta T_{MLEA-101} = \frac{(T_{v(1)EA-101} - T_{EA-101}) - (T_{v(1)EA-101} - T_{tub01})}{\ln \frac{(T_{v(1)EA-101} - T_{EA-101})}{(T_{v(1)EA-101} - T_{tub01})}}$$

para el cambiador EA-102

$$\rho_{VEA-102} C_p \frac{dT_{EA-102}}{dt} = \rho_{F_{tub01}} C_p (\Delta T_{EA-102}) + A U \Delta T_{MLEA-102}$$

$$\Delta T_{EA-102} = (T_{EA-102} - T_{EA-101})$$

El régimen de trabajo de éste es a contracorriente, por lo tanto el ΔT_{ML} que le corresponde es el siguiente :

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_{v(1)EA-102} - T_{EA-102}) - (T_{v(1)EA-102} - T_{EA-101})}{\ln \frac{(T_{v(1)EA-102} - T_{EA-102})}{(T_{v(1)EA-102} - T_{EA-101})}}$$

4.5 ANALISIS DE GRADOS DE LIBERTAD DEL SISTEMA.

Los grados de libertad de un proceso son las variables independientes del proceso que deben ser especificadas para definir completamente al proceso, consecuentemente el control será logrado únicamente cuando todos los grados de libertad hayan sido especificados.

Para especificar los grados de libertad del sistema los modelos relacionados con éste deberán estar planteados.

Para cualquier proceso descrito por un conjunto E de ecuaciones independientes (diferenciales o algebraicas), que tengan V variables el número de grados de libertad serán

$$\text{Grados de libertad} = V - E .$$

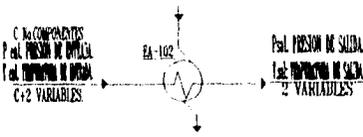
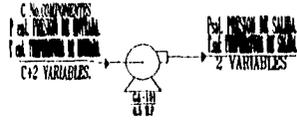
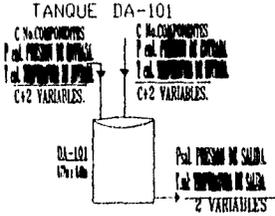
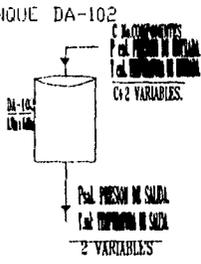
Con relación a lo anterior podemos distinguir tres tipos de casos:

- 1.- grados de libertad = 0 :Significa que el sistema se encuentra totalmente especificado y existe únicamente una solución para dicho.
- 2.- grados de libertad >0 :Significa que el sistema está bajo especificado y existen múltiples soluciones.
- 3.- grados de libertad <0 :Significa que el sistema está sobre especificado es decir existen ecuaciones que no corresponden al sistema

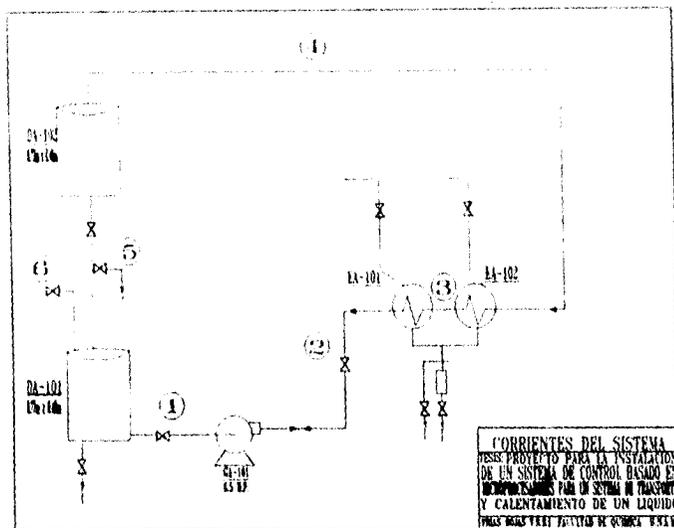
En general para modelos de procesos los grados de libertad son mayores a cero por lo que tendremos un numero infinito de soluciones.

En las páginas siguientes se presenta el analisis de grados de libertad para el sistema de transporte y calentamiento de un líquido.

4.5.1 ANALISIS DE GRADOS DE LIBERTAD DEL SISTEMA POR EQUIPO Y ECUACIONES

CANTIDAD DE SERVICIOS CA-101	NÚMERO DE VARIABLES	EQUACIONES DEL EQUIPO
	C+4	1. BALANCE DE MATERIALES (eq. 10) 2. BALANCE DE ENERGIA (eq. 11)
<p>CAMBIADOR CON SERVICIO EA-102</p> 	C+4	3. BALANCE DE MATERIALES (eq. 11) 4. BALANCE DE ENERGIA (eq. 12)
<p>BOMBA CENTRIFUGA GA-101</p> 	C+4	
<p>TANQUE DA-101</p> 	2C+6	5. BALANCE DE MATERIALES (eq. 10) 6. BALANCE DE ENERGIA MECANICA (eq. 12)
<p>TANQUE DA-102</p> 	C+4	7. BALANCE DE MATERIALES (eq. 10) 8. BALANCE DE ENERGIA MECANICA (eq. 12)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> VARIABLES TOTALES = 6C+22 ECUACIONES TOTALES = 8 </div>		

1.5.2 CORRIENTES REDUNDANTES Y GRADOS DE LIBERTAD DEL SISTEMA



CORRIENTES REDUNDANTES

CORRIENTES REDUNDANTES DEL SISTEMA = CORRIENTES REDUNDANTES * (C+2)

Nº DE CORRIENTES REDUNDANTES DEL SISTEMA = 5

CORRIENTES REDUNDANTES DEL SISTEMA = 5C+10

Nº DE GRADOS DE LIBERTAD = VARIABLES DEL SISTEMA - CORRIENTES REDUNDANTES - ECUACIONES DEL SISTEMA

TOTAL DE GRADOS DE LIBERTAD = (6C+22) - (5C+10) - 8 = C+4

COMPONENTES DEL SISTEMA * C = 1

ENTONCES GRADOS DE LIBERTAD DEL SISTEMA = C+4 = 5

GRADOS DE LIBERTAD DEL SISTEMA = 5

4.6 ECUACIONES DE CONTROL

Pero ¿cómo vamos a manipular nuestras variables elegidas ?.

Para ello utilizaremos ecuaciones que nos permitan manipular correctamente nuestras variables de acuerdo con nuestros objetivos de control.

Controlador proporcional:

Un controlador con acción de control proporcional cambia su señal de salida (CO) en proporción directa a la señal de error (E), la cual es la diferencia entre el punto fijo y la señal de medición del proceso (PM) que viene desde el transmisor.

$$CO = \text{BIAS} \pm K_c * (SP - PM)$$

La señal BIAS es una constante y es el valor de salida del controlador cuando no existe error, Kc es conocido como la ganancia del controlador. Puesto que un cambio en la carga requiere de una nueva posición de la válvula de control, el controlador tendrá una nueva señal de error, esto provoca que un efecto conocido como "OFFSET" (o error al valor al estado estacionario), es decir el valor de punto fijo no se alcanza nunca manteniendo a los sistemas lentos, en un valor ligeramente arriba o abajo de su nivel de punto fijo.

Controlador con acción de control integral:

La acción de la integral manipula la válvula de control basada en la integral de tiempo del error:

$$CO = \text{BIAS} + \frac{1}{\tau_i} \int E(t) dt$$

donde τ_i es el tiempo de la integral .

Si no hay error la señal de salida del controlador no cambia, conforme el error se mueva positiva o negativamente, la integral del error manipulará al controlador arriba o abajo dependiendo de la acción del controlador (reversa o directa). El propósito básico de la acción de la integral es conducir al proceso de regreso a su punto fijo cuando éste ha sido perturbado, esto es, la acción de la integral reduce el "OFFSET" a cero. Las ecuaciones de control me permitirán manipular, de acuerdo a nuestros grados de libertad cinco elementos finales de control en el sistema y éstos serán manipulados, esto es, por medio de las válvulas LCV-103, LCV-102, SV-101, TCV-104 y TCV-105.

Para valores sustituibles en las ecuaciones de control ver punto 4.3 Definición de alarmas, límites, puntos fijos y entrelaces en página 16.

● VALVULA LCV-103.

Controlador proporcional(P).

BIAS = 12

$$PMDA-101 = 16 * hDA-101 / (.77 - .1) + 4$$

$$COLC-120 = BIAS + (gCLC-120 * (SPDA-101 - PMDA-101))$$

$$PVDA-101 = (12 / 16) * COLC-120$$

$$FXLCV-103 = (1 / 12) * PVDA-101 - .25$$

● VALVULA LCV-102

Controlador proporcional(P).

BIAS = 12

$$PMDA-102 = 16 * hDA-102 / (.77 - .1) + 4$$

$$COLC-121 = BIAS + (GCOLC-121 * (SPDA-102 - PMDA-102))$$

$$PVDA-102 = (12 / 16) * COLC-121$$

$$FXLCV-102 = (1 / 12) * PVDA-102 - .25$$

● VALVULA TCV-104

Controlador proporcional(P).

BIAS = 12

$$PMEA-101 = 16 * TEA-101 / 80 + 4$$

$$COTC-123 = BIAS + (100 * (SPEA-101 - PMEA-101))$$

$$PVEA-101 = (12 / 16) * COTC-123$$

$$FXTCV-104 = (1 / 12) * PVEA-101 - .25$$

● VALVULA TCV-105

Controlador proporcional(P).

BIAS = 12

$$PMEA-102 = 16 * TEA-102 / 80 + 4$$

$$COTC-124 = BIAS + (100 * (SPEA-102 - PMEA-102))$$

$$PVEA-102 = (12 / 16) * COTC-124$$

$$FXTCV-105 = (1 / 12) * PVEA-102 - .25$$

● ECUACION DE CONTROL PARA LA VALVULA SV-101

Esta válvula es: Dos posiciones.

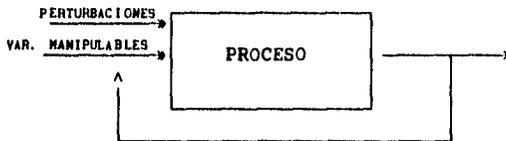
4.7 CONFIGURACIONES DE CONTROL PROPUESTAS.

Una configuración de control es la estructura de información que es utilizada para conectar las mediciones disponibles con las variables manipulables disponibles. Dependiendo de cuantas variables de salida existan y cuantas entradas manipuladas, una configuración puede ser:

Clasificación {
a) SISTEMA UNA ENTRADA UNA SALIDA(SISO)
b) SISTEMA MULTIPLES ENTRADAS
MULTIPLES SALIDAS(MIMO)

1) CONFIGURACION DE CONTROL CON RETROALIMENTACION "FEEDBACK".

Usa medición directa de las variables controladas para ajustar los valores de las variables manipulables, manteniéndolas en ciertos niveles o puntos fijos.

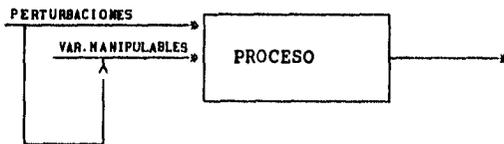


2) CONFIGURACION DE CONTROL DIFERENCIAL "INFERENCIAL".

Usa mediciones secundarias para propiedades no medibles ya que las variables a controlar no son medibles .

3) CONFIGURACION DE CONTROL HACIA DELANTE "FEEDFORWARD".

Usa medición directa de las perturbaciones para ajustar los valores de las variables manipulables .



El sistema de transporte y calentamiento de un líquido es un sistema múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO).

4.7.1 PROPUESTA DE CONTROL 1:

Uso de controladores proporcionales(P).

En el primer ciclo de control la válvula LCV-103 está ligada al nivel del tanque DA-101, en el segundo ciclo de control la válvula LCV-102 está ligada al nivel en el tanque DA-102, en el tercer ciclo de control la válvula SV-101 está ligada al volumen total en el sistema, en el cuarto ciclo de control la válvula TCV-104 está ligada a la temperatura de salida en el Cambiador EA-101, en el quinto ciclo de control la válvula TCV-105 está ligada a la temperatura de salida en el cambiador EA-102. De esta forma se cumplen con los grados de libertad.

Ley de control.

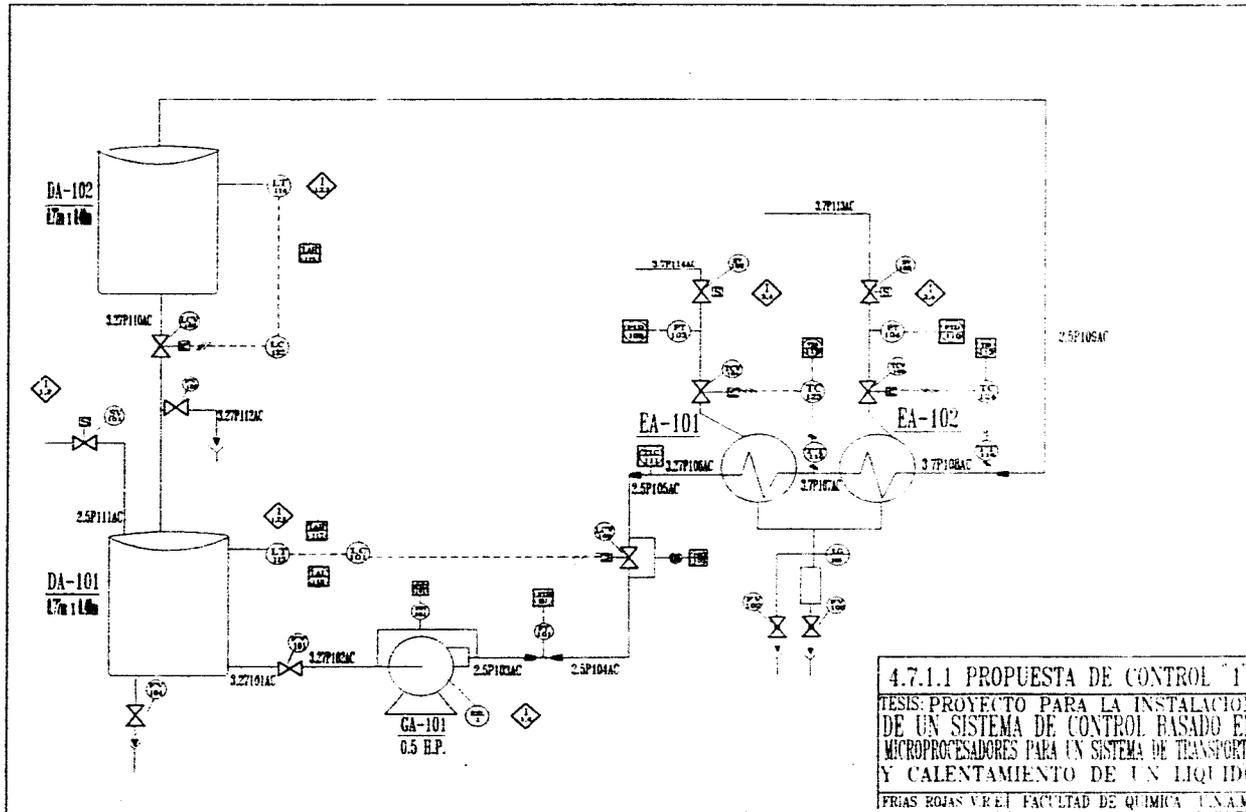
En el primer ciclo de control la válvula está cerrada si no tiene nivel el tanque DA-102.

En el segundo ciclo de control la válvula está abierta si no tiene nivel el tanque DA-101.

En el tercer ciclo de control la válvula está abierta hasta alcanzar volumen total en el sistema.

En el cuarto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.

En el quinto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.



4.7.2 PROPUESTA DE CONTROL 2:

Uso de controladores proporcionales(P).

En el primer ciclo de control la válvula LCV-103 está ligada al nivel en el tanque DA-102, en el segundo ciclo de control la válvula LCV-102 está ligada al nivel en el tanque DA-101, en el tercer ciclo de control la válvula SV-101 está ligada al volumen total en el sistema, en el cuarto ciclo de control la válvula TCV-104 está ligada a la temperatura de salida del cambiador EA-101, en el cuarto ciclo de control la válvula TCV-105 está ligada a la temperatura de salida del cambiador EA-102. De esta forma se cumplen con los grados de libertad del sistema.

Ley de control.

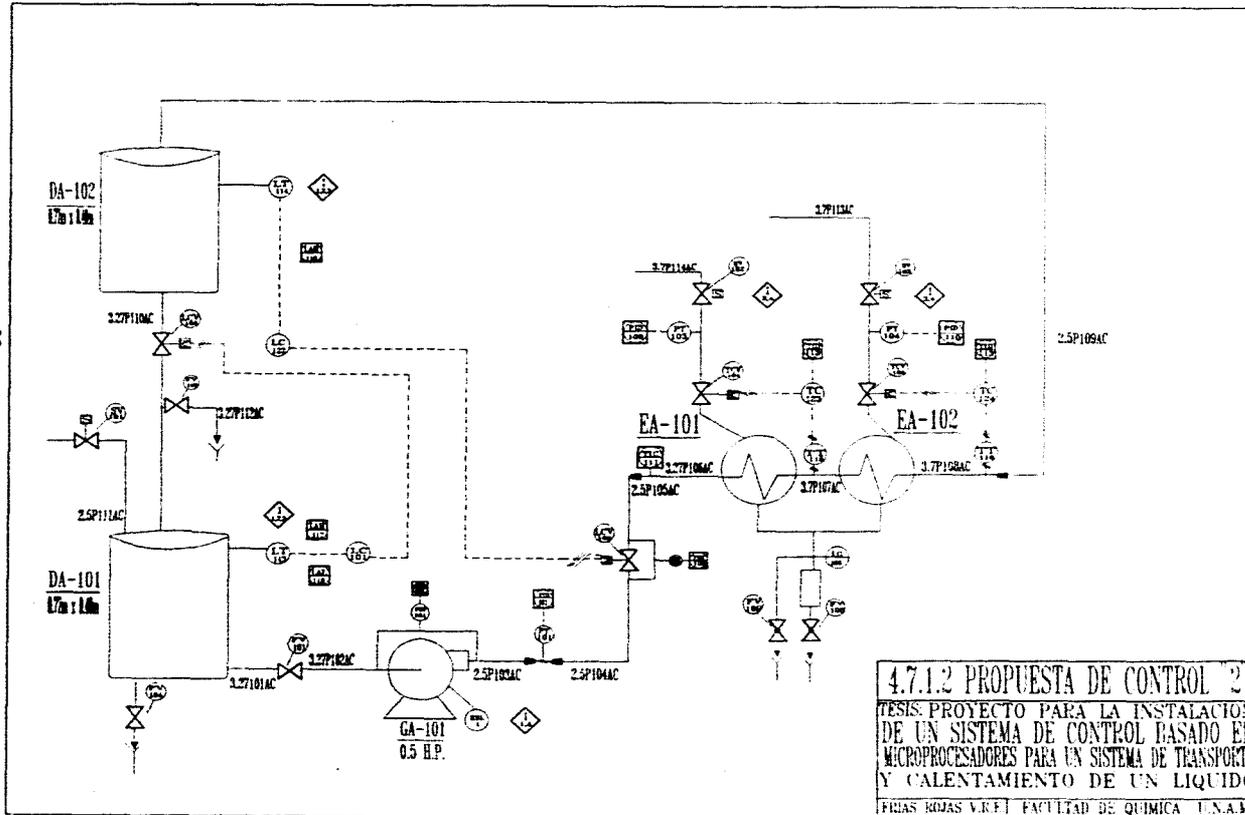
En el primer ciclo de control la válvula está abierta si no tiene nivel el tanque DA-102.

En el segundo ciclo de control la válvula está cerrada si no tiene nivel el tanque DA-101.

En el tercer ciclo de control la válvula está abierta hasta alcanzar el punto fijo en DA-101.

En el cuarto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.

En el quinto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.



4.7.3 PROPUESTA DE CONTROL 3:

Uso de controladores proporcionales(P)

En el primer ciclo de control la válvula LCV-102 está ligada al nivel en el tanque DA-101, en el segundo ciclo de control la válvula LCV-103 está ligada al nivel en el tanque DA-102, en el tercer ciclo de control la válvula SV-101 está ligada al nivel de punto fijo en el tanque DA-102, en el cuarto ciclo de control la válvula TCV-104 está ligada a la temperatura de salida en el cambiador EA-101, en el quinto ciclo de control la válvula TCV-105 está ligada a la temperatura de salida del cambiador EA-102 de esta manera se cumplen con los grados de libertad del sistema.

Ley de control.

En el primer ciclo de control la válvula está abierta si no tiene nivel el tanque DA-101.

En el segundo ciclo de control la válvula está abierta si no tiene nivel el tanque DA-102.

En el tercer ciclo de control la válvula está abierta hasta alcanzar punto fijo en DA-102.

En el cuarto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.

En el quinto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.

4.7.4 PROPUESTA DE CONTROL 4:

Uso de controladores proporcionales(P).

En el primer ciclo de control la válvula SV-101 está ligada al nivel en el tanque DA-101, en el segundo ciclo de control LCV-102 está ligada al nivel en el tanque DA-102, en el tercer ciclo de control TCV-104 está ligada a la temperatura de salida del cambiador EA-101, en el cuarto ciclo de control la válvula TCV-105 está ligada a la temperatura de salida del cambiador EA-102.

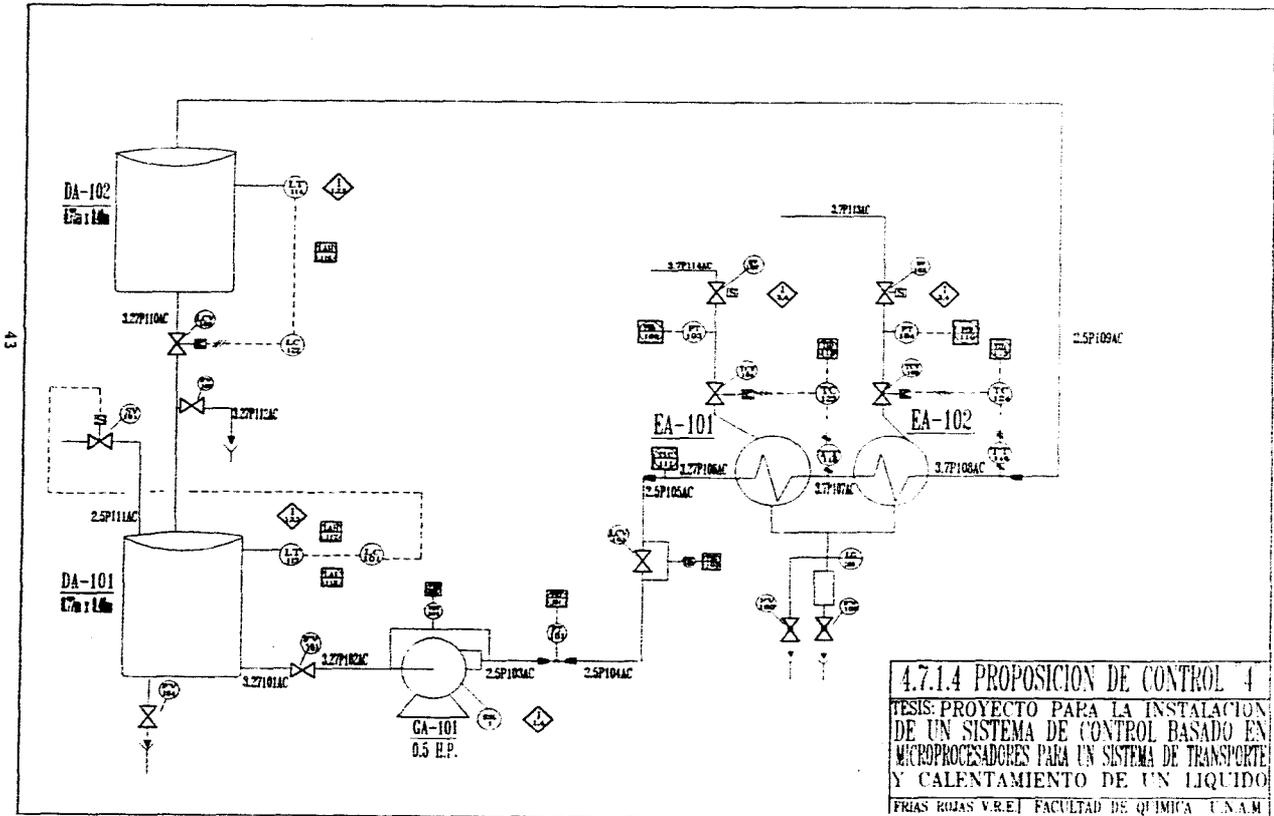
Ley de control.

En el primer ciclo de control la válvula está abierta si no tiene nivel el tanque DA-101.

En el segundo ciclo de control la válvula está cerrada si no tiene nivel el tanque DA-102.

En el tercer ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.

En el cuarto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.



4.7.1.4 PROPOSICION DE CONTROL 4
 TESIS: PROYECTO PARA LA INSTALACION
 DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN
 MICROPROCESADORES PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE
 Y CALENTAMIENTO DE UN LIQUIDO
 FRIAS ROJAS V.R.E.I FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

4.7.5 PROPUESTA DE CONTROL 5:

Uso de controladores proporcionales(P)

En el primer ciclo de control la válvula SV-101 está ligada al nivel en el tanque DA-102, en el segundo ciclo de control la válvula LCV-102 está ligada al nivel en el tanque DA-101, en el tercer ciclo de control la válvula TCV-104 está ligada a la temperatura de salida del cambiador EA-101, en el cuarto ciclo de control la válvula TCV-105 está ligada a la temperatura de salida del cambiador EA-102

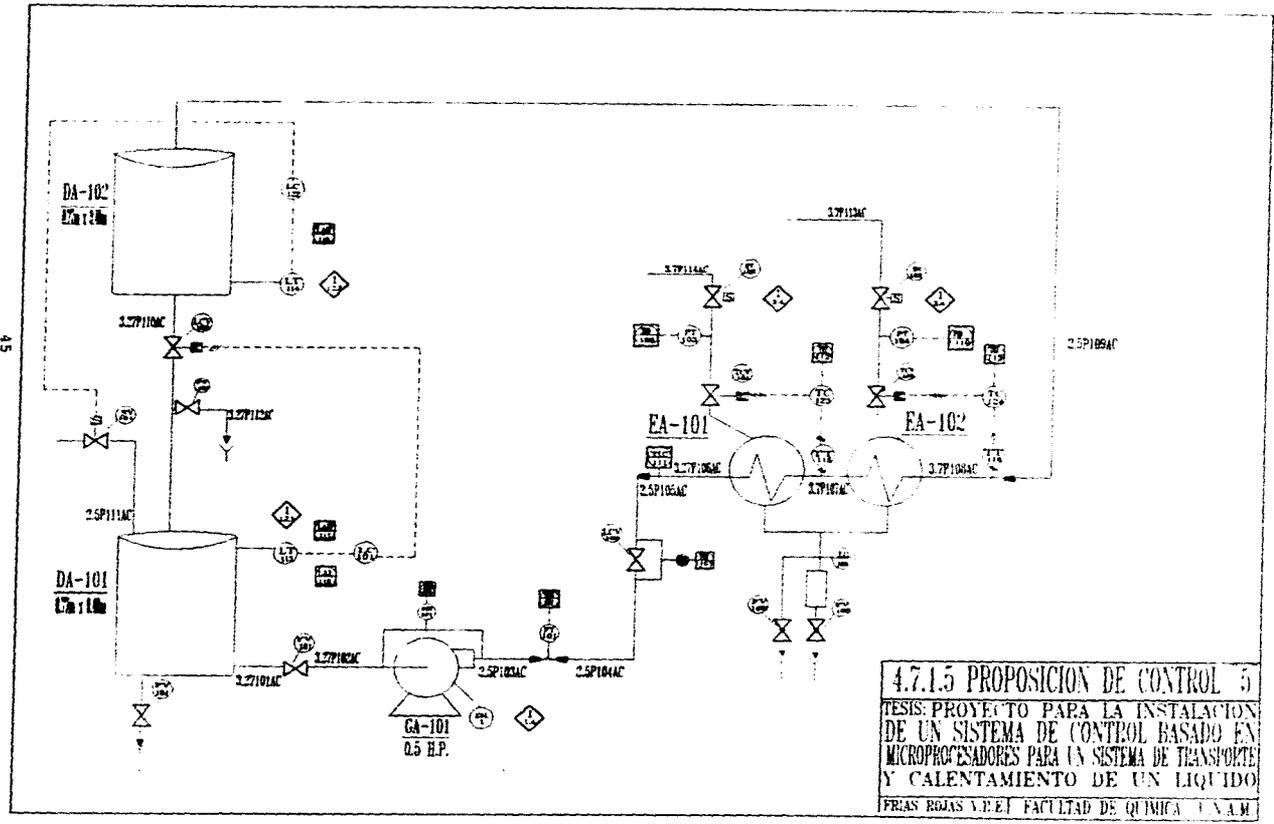
Ley de control.

En el primer ciclo de control la válvula está abierta si no tiene nivel el tanque DA-102.

En el segundo ciclo de control la válvula está abierta si no tiene nivel el tanque DA-102.

En el tercer ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.

En el cuarto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.



4.7.6 PROPUESTA DE CONTROL 6:

Uso de controladores proporcionales(P).

En el primer ciclo de control la válvula LCV-103 está ligada al nivel del tanque DA-101, en el segundo ciclo de control la válvula LCV-102 está ligada al nivel en el tanque DA-102, en el tercer ciclo de control la válvula SV-101 está ligada al nivel en el tanque DA-101, en el cuarto ciclo de control la válvula TCV-104 está ligada a la presión de vapor del cambiador EA-101, en el quinto ciclo de control la válvula TCV-105 está ligada a la presión de vapor en el cambiador EA-102. De esta forma se cumplen con los grados de libertad.

Ley de control.

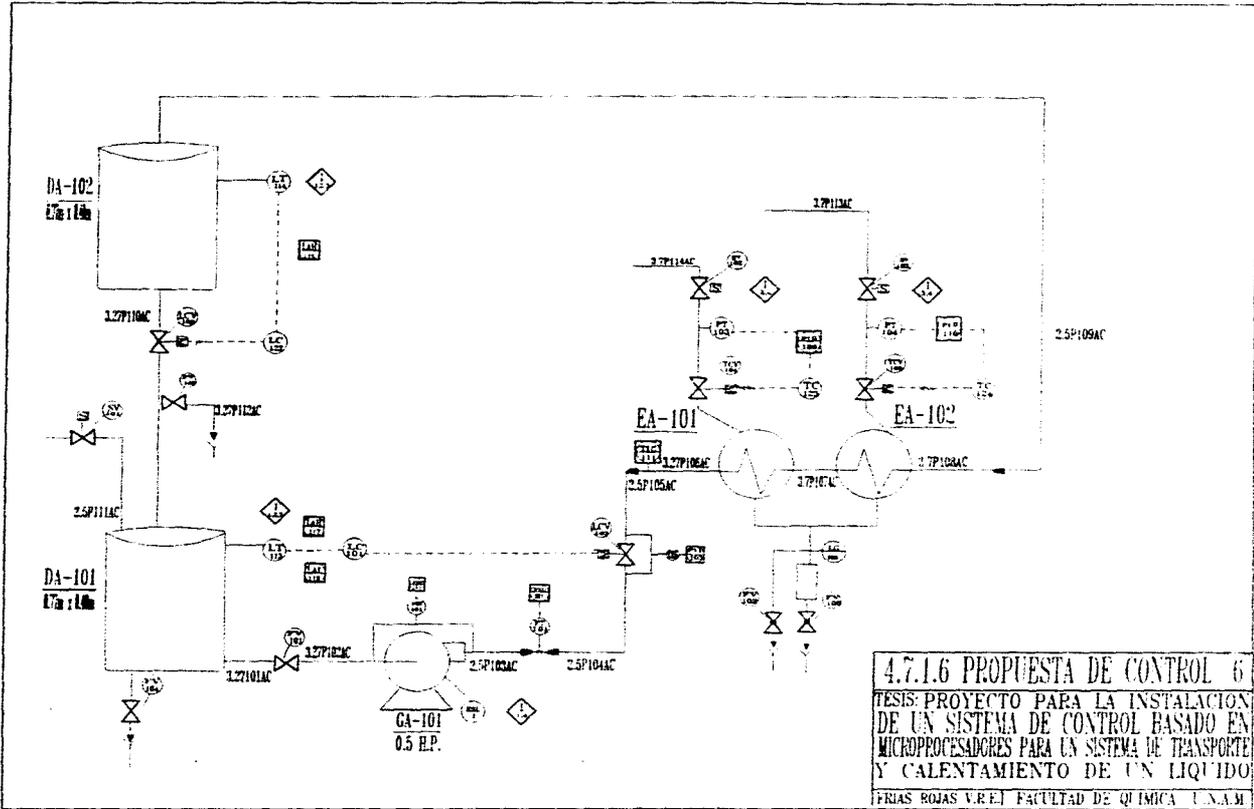
En el primer ciclo de control la válvula está cerrada si no tiene nivel el tanque DA-102.

En el segundo ciclo de control la válvula está abierta si no tiene nivel el tanque DA-101.

En el tercer ciclo de control la válvula está abierta hasta alcanzar punto fijo en DA-101.

En el cuarto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.

En el quinto ciclo de control la válvula está cerrada hasta alcanzar punto fijo en DA-101.



4.7.1.6 PROPUESTA DE CONTROL 6
TESIS: PROYECTO PARA LA INSTALACION
DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN
MICROPROCESADORES PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE
Y CALENTAMIENTO DE UN LIQUIDO
FRIAS ROJAS V.R.E. FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

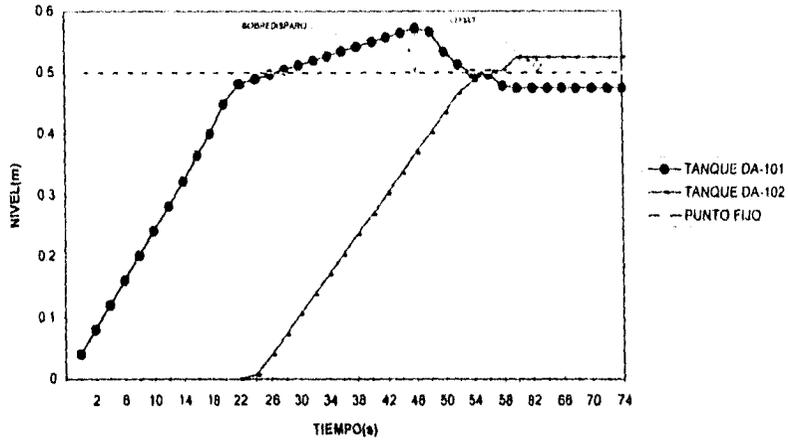
4.8 ANALISIS DEL DESEMPEÑO DINAMICO DE LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES.

El análisis del desempeño dinámico del sistema implica la resolución de un sistema no lineal de doce ecuaciones diferenciales ordinarias y cuatro ecuaciones de control para controladores proporcionales, planteadas en el desarrollo del modelo dinámico del sistema.

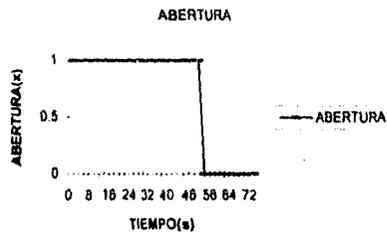
A continuación se presenta las gráficas para el desarrollo dinámico de los tanques para un punto fijo de 50cm (0.5m) y para los cambiadores un punto fijo de 30 °C, dado que las proposiciones de control 4 y 5 no cumplen con los grados de libertad que el sistema requiere no se analizará su desempeño dinámico.

Nota: El volumen equivalente total es lo siguiente: La suma del volumen en el tanque DA-101 más el volumen en el tanque DA-102, registrado por medio de los transmisores de nivel de los respectivos tanques, según los niveles introducidos por el usuario.

DESEMPEÑO DINAMICO DE LOS TANQUES PARA UN PUNTO FIJO DE 0.5 METROS
 USO DE CONTROLADORES PROPORCIONALES
 PROPOSICION DE CONTROL "1"



DESEMPEÑO DINAMICO DE LA VALVULA SV-101



4.8.1.1 ANALISIS DEL DESMPENO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 1:

Uso de controladores proporcionales(P)

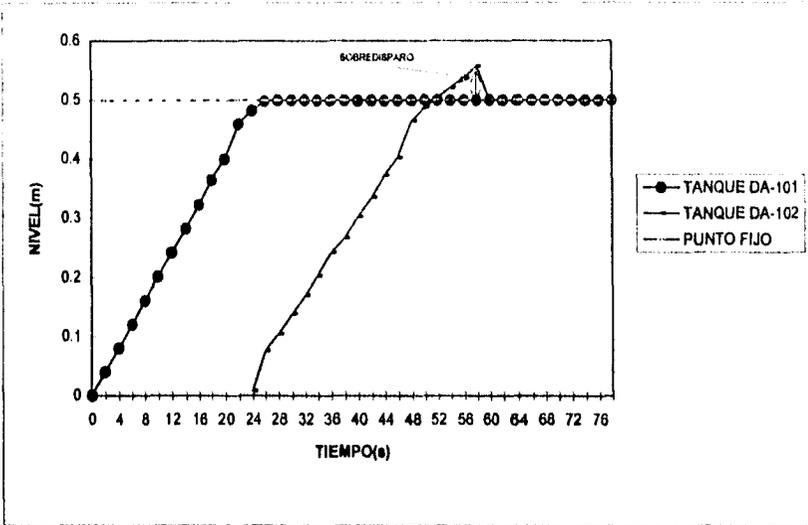
Abre la válvula SV-101, cuando el tanque DA-101 alcanza un nivel de 40cm (0.4m) se enciende la bomba, la válvula LCV-103 abrirá completamente para permitir que el nivel en el tanque DA-102 llegue a su punto fijo, la válvula LCV-102 estará cerrada, una vez que el tanque DA-102 se aproxima al nivel de punto fijo la válvula LCV-102 comenzará a abrir permitiendo que el tanque DA-101 empiece a llegar a su nivel de punto fijo, una vez que el tanque DA-101 se aproxima al nivel de punto fijo la válvula LCV-103 comenzará a cerrar y la válvula SV-101 cierra completamente, los controladores se encargan de ajustar los niveles en los tanques DA-101 y DA-102 a sus respectivos puntos fijos mediante la manipulación de las aberturas de las válvulas LCV-102 y LCV-103, una vez estabilizados los niveles se abrirán las válvulas de vapor TCV-104 y TCV-105 completamente hasta que la temperatura de salida en EA-101 y EA-102 se aproxime a sus respectivos puntos fijos entonces comenzarán a cerrar manteniendo cierta abertura controlada por medio de los controladores que permitirá mantener al sistema en las condiciones requeridas.

los tanques según lo muestra la gráfica presentan "OFFSET" dando los siguientes valores para los mismos:

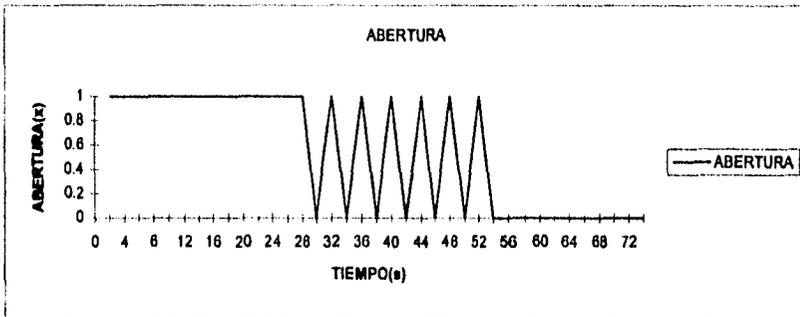
	TANQUE DA-101	TANQUE DA-102
OFFSET (m)	0.0249	0.0249
% ERROR	5.241	4.74

Además el tanque DA-101 presenta un sobredisparo de 0.0728 m que equivale a un porciento de error del 14.52% .

DESEMPEÑO DINAMICO DE LOS TANQUES PARA UN PUNTO FIJO DE 0.5 METROS
 USO DE CONTROLADORES PROPORCIONALES
 PROPOSICION DE CONTROL "2"



DESEMPEÑO DINAMICO DE LA VALVULA SV-101



4.8.2.1 ANALISIS DEL DESMPEÑO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 2:

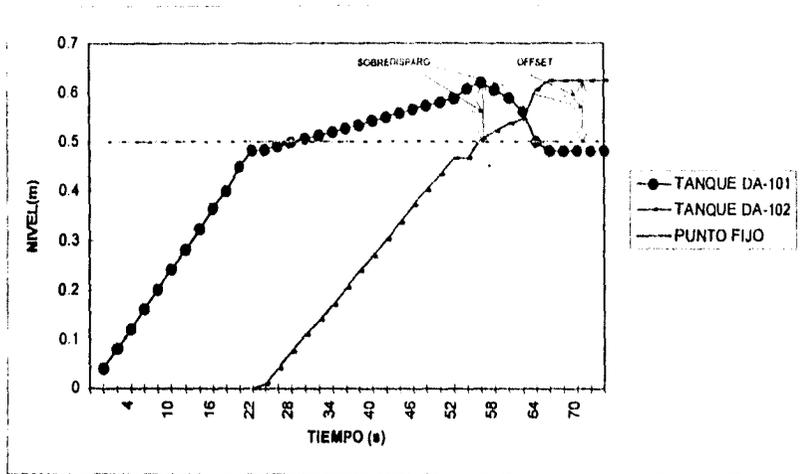
Abre la válvula SV-101 completamente, una vez que se alcanzó el nivel en el tanque DA-101 de 40cm(0.4m) se enciende la bomba, enseguida se abre la válvula LCV-103 completamente por que no hay nivel en el tanque DA-102, se empieza a llenar DA-102, cuando éste empieza a llegar a su nivel de punto fijo entonces empieza a cerrar la válvula LCV-103, lo que provoca un aumento en el nivel de DA-101, se abre la válvula LCV-102 provocando que el nivel en el tanque DA-101 se comience a llenar alcanzando su nivel de punto fijo cerrará entonces la válvula SV-101 permitiendo que los controladores estabilicen el sistema. Cuando los dos tanques están proximos a su nivel de punto fijo entonces se abrirán las válvulas de vapor TCV-104 y TCV-105, cuando la temperatura del líquido a la salida de los cambiadores EA-101 y EA-102 se acerque a su punto fijo entonces se empezarán a cerrar manteniendo una abertura controlada manteniendo al sistema en las condiciones requeridas.

Los tanques según lo muestra la gráfica presentan "OFFSET" dando los siguientes valores para los mismos:

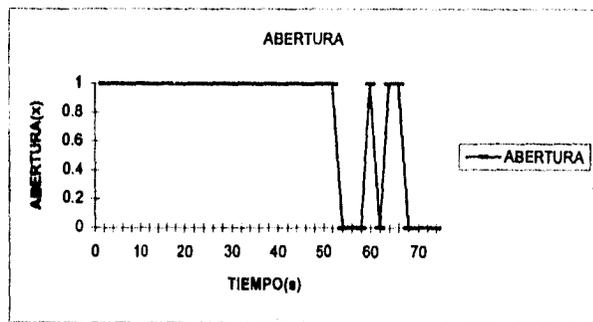
	TANQUE DA-101	TANQUE DA-102
OFFSET (m)	0.005	0.0571
% ERROR	0.09	10.24

Además el tanque DA-102 presenta un sobredisparo de 0.0571 m que equivale a un porciento de error del 11.42% .

DESEMPEÑO DINAMICO DE LOS TANQUES PARA UN PUNTO FIJO DE 0.5 M
 USO DE CONTROLADORES PROPORCIONALES
 PROPOSICION DE CONTROL "3"



DESEMPEÑO DINAMICO DE LA VALVULA SV-101



4.8.3.1 ANALISIS DEL DESMPENO DINAMICO DE LA PROPOSICION DE CONTROL 3:

Se abre la válvula SV-101 completamente, abre la válvula LCV-103 debido a que no hay nivel en el tanque DA-101, abre la válvula LCV-102 por que no hay nivel en el tanque DA-102, se comienza a acercar el tanque DA-101 a su nivel de punto fijo, provocando que la válvula LCV-102 empiece a cerrar, el nivel en el tanque DA-102 empieza a aumentar cuando éste se acerca al nivel de punto fijo cierra la válvula SV-101, empieza a cerrar la válvula LCV-103 provocando que DA-101 aumente su nivel y abra LCV-102, provocando que DA-102 pierda nivel y se vuelva a abrir la válvula SV-101 de esta forma permanecerá el sistema hasta que los controladores regulen los niveles en los tanques, entonces abrirán las válvulas de vapor TCV-104 y TCV-105 completamente y permanecerán así hasta que las temperaturas de salida en los cambiadores EA-101 y EA-102 se aproximen a sus temperaturas de punto fijo las válvulas comenzarán a cerrar por medio de los controladores que mantendrán la abertura necesaria.

Los tanques según lo muestra la gráfica presentan "OFFSET" dando los siguientes valores para los mismos:

	TANQUE DA-101	TANQUE DA-102
OFFSET (m)	0.025	0.153
% ERROR	5.26	23.43

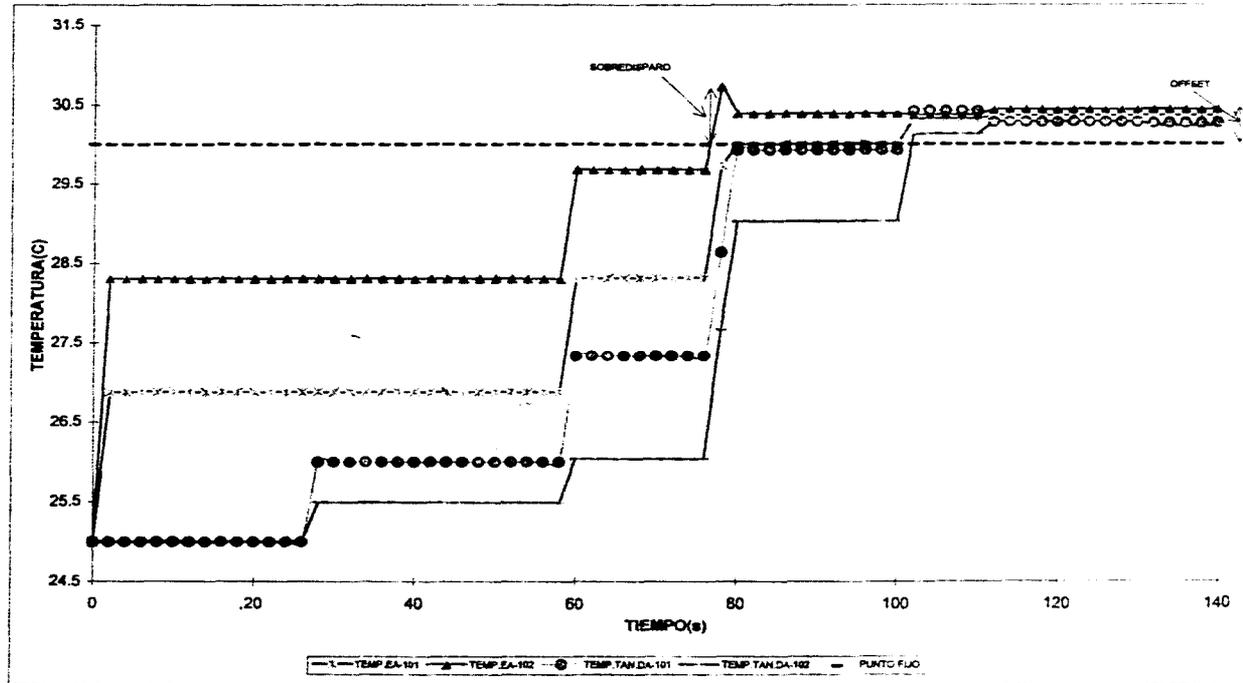
Además el tanque DA-102 presenta un sobredisparo de 0.1210 m que equivale a un porciento de error del 19.48% .

Con respecto al desarrollo dinámico de los cambiadores EA-101 y EA-102 éstos presentan para todas las configuraciones de control y con controladores proporcionales los siguientes resultados gráficos:

DESEMPEÑO DINAMICO DE LOS CAMBIADORES Y LOS TANQUES PARA UN PUNTO FIJO DE 30°C

PARA PROPOSICION DE CONTROL 1, 2 6 3

VS



Los cambiadores según lo muestra la gráfica presenta "OFFSET" dando los siguientes valores para los mismos:

	CAMBIADOR EA-101	CÁMBIADOR EA-102
OFFSET (C)	0.370	1.230
% ERROR	0.45	1.45

4.8.5.1 ANALISIS DEL DESMPENO DINAMICO DE LA PROPUESTA DE CONTROL ADICIONAL.

Adicionalmente se probó la configuración de control "1" con controladores proporcional-integral (PI) los cuales permiten la eliminación del "OFFSET".

PROPOSICION ADICIONAL DE CONTROL MEDIANTE EL USO DE CONTROLADORES PROPORCIONALES-INTEGRALES (PI) para los tanques.

En el primer ciclo de control la válvula SV-101 está ligada por el volumen equivalente total del sistema, en el segundo ciclo de control la válvula LCV-103 está ligada al nivel en el tanque DA-101, en el tercer ciclo de control la válvula LCV-102 está ligada por el nivel en el tanque DA-102, en el cuarto ciclo de control la válvula TCV-104 está ligada a la temperatura del cambiador EA-101, en el quinto ciclo de control la válvula TCV-105 está ligada a la temperatura del cambiador EA-102, de esta forma se cumplen con los grados de libertad del sistema. Ley de control.

En el primer ciclo de control la válvula está abierta si no se ha alcanzado el volumen equivalente total.

En el segundo ciclo de control la válvula está cerrada si no hay nivel en el tanque DA-101.

En el tercer ciclo de control la válvula está cerrada si no hay nivel en

el tanque DA-102.

En el cuarto ciclo de control la válvula está cerrada si no se ha alcanzado el volumen equivalente total.

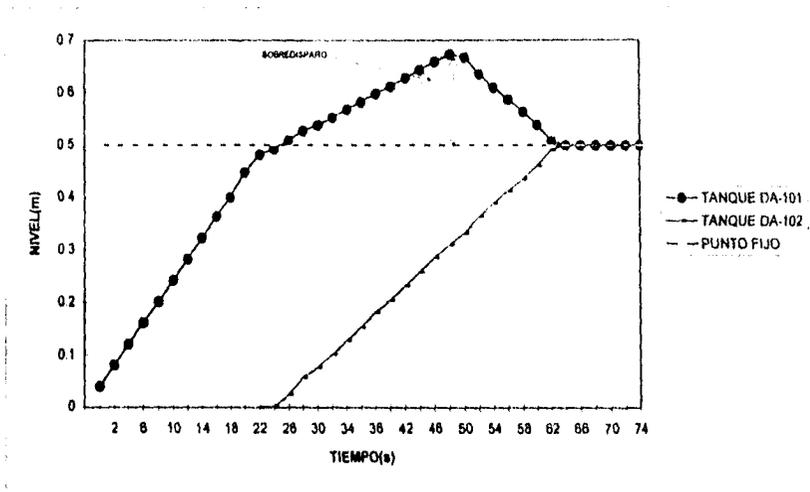
En el quinto ciclo de control la válvula está cerrada si no se ha alcanzado el volumen equivalente total.

Desempeño dinámico de la configuración alterna:

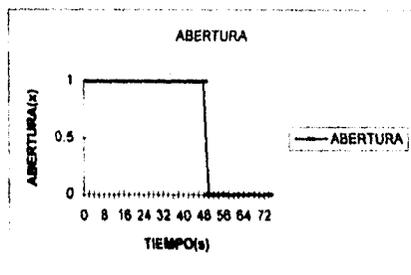
Se abre la válvula SV-101, una vez que se alcanzó un nivel de 40cm(0.4m) en el tanque DA-101 se enciende la bomba, la válvula LCV-103 permanecerá cerrada hasta que el nivel en DA-101 se comience a acercar al nivel de punto fijo entonces abre la válvula se comienza a llenar el tanque DA-102, cuando se alcanza el volumen equivalente total en el sistema cierra la válvula SV-101, para este momento los dos tanques están casi en sus respectivos niveles de punto fijo, válvulas LCV-102 y LCV-103 debido a la acción del controlador PI manteniendo a los dos tanques en el nivel de sus respectivos puntos fijos, los dos tanques, abren las válvulas TCV-104 y TCV-105 empezando a calentar el agua del sistema, una vez que se alcanzan las temperaturas de punto fijo, las válvulas TCV-104 y TCV-105 se mantendrán en una abertura necesaria.

Esta configuración presenta un sobredisparo con respecto al tanque DA-102 de 0.136 m que equivale a un porcentaje de error del 27.2%.

DESEMPEÑO DINAMICO DE LOS TANQUES PARA UN PUNTO FIJO DE 0.5 METROS
 USO DE CONTROLADORES PROPORCIONALES -INTEGRALES
 PARA PROPOSICION DE CONTROL "1"



DESEMPEÑO DINAMICO DE LA VALVULA SV-101



4.9 SELECCION DE LA CONFIGURACION DE CONTROL

Criterios para la selección de la configuración de control:

- Métodos de la integral de error, al cuadrado y ponderado.
- Criterios empíricos: Se analiza el desempeño o desviación del sistema.

Como criterio de selección de configuración de control utilizaremos un criterio de control empírico de acuerdo al desempeño dinámico de las distintas configuraciones del sistema resuelto por medio de un algoritmo Runge-Kutta de cuarto orden para ecuaciones diferenciales programado en una computadora personal.

- Selección de la configuración de control del sistema de transporte y calentamiento de un líquido.

Existen seis proposiciones de control en el sistema de transporte y calentamiento de un líquido de las cuales, las proposiciones de control número cuatro y cinco quedan descartadas debido a que no cumplen con los grados de libertad que el sistema requiere, la configuración de control número seis queda descartada debido a que la medición de la variable a controlar es una variable indirecta. Con respecto a las configuraciones de control tres y dos se tiene que la válvula SV-101 abre y cierra constantemente lo que provoca que la válvula solenoide se gaste, por lo tanto la configuración de control que se utilizará será la proposición de control número uno.

Esta se probó con distintos tipos de controladores (P y PI), cualquiera de las dos proposiciones es apropiada éstas deberán ser preprogramadas previamente en el equipo de control.

4.10 INDICE DE INSTRUMENTOS

El índice de instrumentos especificará sólo el instrumento referido y el servicio que presta.

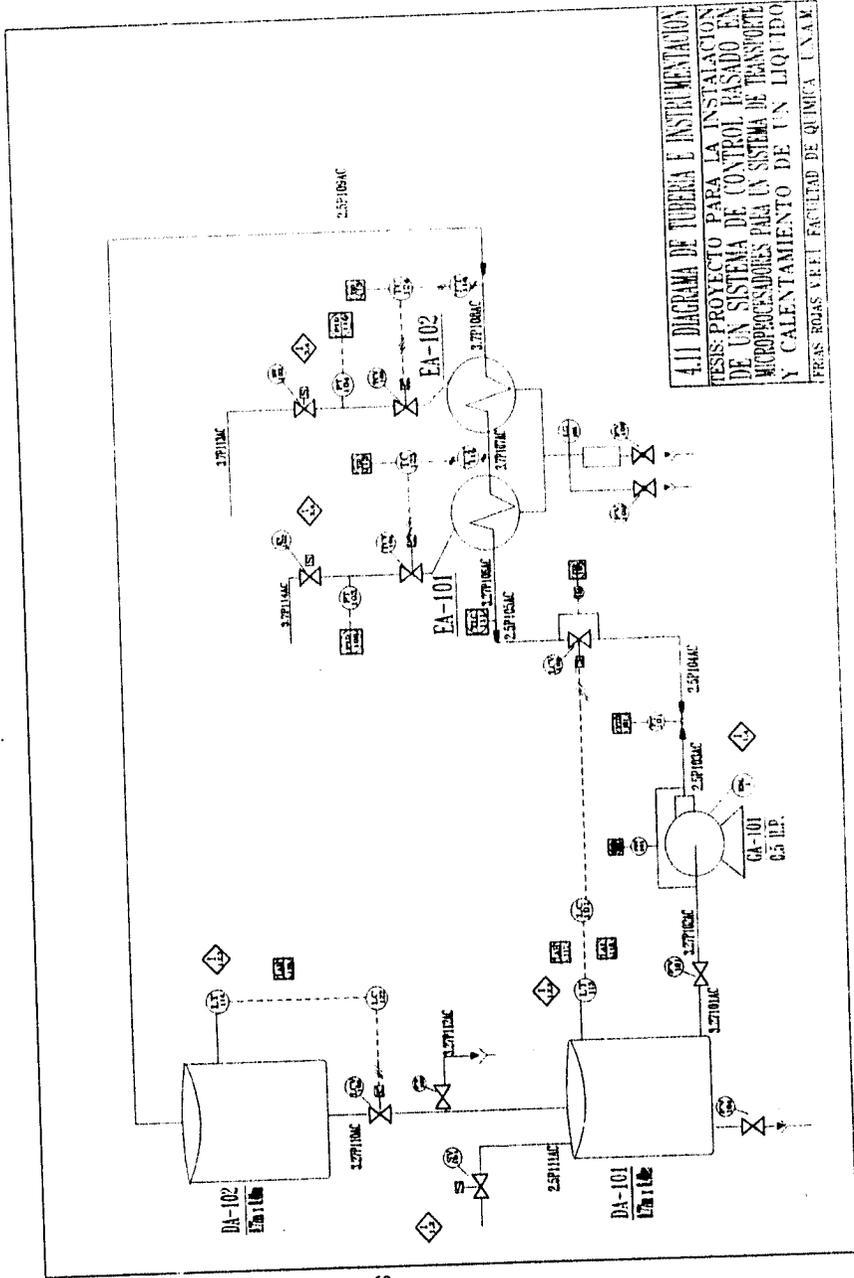
CLAVE	INSTRUMENTO	SERVICIO
ESL-1	Arrancador de bomba	Encender la bomba.
FIC-101	Indicador de flujo	Ind.de flujo en pantalla.
FT-101	Transmisor de flujo	Flujo en el sistema.
FV-101	Válvula de compuerta	Salida a drenaje.
FV-102	Válvula de globo	Salida a drenaje.
FV-103	Válvula de globo	Salida a drenaje.
FV-104	Válvula de globo	Drene tanque DA-101.
FV-105	Válvula de globo	Control de flujo de cond.
LAH-117	Alarma de nivel	Alerta nivel en pantalla
LAL-118	Alarma de nivel	Alerta nivel en pantalla
LAH-119	Alarma de nivel	Alerta nivel en pantalla
LC-120	Controlador de nivel	Control válvula LCV-103
LC-121	Controlador de nivel	Control válvula SV-101
LC-122	Controlador de nivel	Control válvula LCV-102
LCV-102	Válvula de control	Nivel en DA-102.
LCV-103	Válvula de control	Nivel en DA-101.
LT-113	Transmisor de nivel	Transmisión nivel en DA-101.
LT-114	Transmisor de nivel	Transmisión nivel en DA-102.
PDT-101	Tans. de pres.dif.	Trans.de pres.dif. en bomba.
PDT-102	Tans. de pres.dif.	Trans.de pres.dif. en valv.
PIC-101	Indicador de presión	Pres. bomb.en pantalla.
PIC-103	Indicador de presión	Pres. valv.en pantalla.
PIC-109	Indicador de presión	Pres. de vap.en pantalla.
PIC-110	Indicador de presión	Pres. de vap.en pantalla.
PT-103	Transmisor de presión	Trans.de pres.de vapor
PT-104	Transmisor de presión	Trans.de pres.de vapor.
SV-101	Válvula solenoide	Alimentación red gral.
SV-102	Válvula solenoide	Corte de vapor.
SV-103	Válvula solenoide	Corte de vapor.
TC-123	Controlador de temp.	Control válvula TCV-104.
TC-124	Controlador de temp.	Control válvula TCV-105.
TCV-104	Válvula de control	Control de flujo de vapor.
TCV-105	Válvula de control	Control de flujo de vapor.
TIC-111	Indicador de temp.	Temperatura de ent.liq.
TIC-112	Indicador de temp.	Temperatura de sal.liq.
TIC-113	Indicador de temp.	Temperatura de sal.liq.
TT-115	Transmisor de temp.	Trans. de temp. en EA-101
TT-116	Transmisor de temp.	Trans. de temp. en EA-102

4.10.1 INDICE DE TUBERIA

CLAVE	SERVICIO	LONGITUD(cm)
3.27P101AC	SISTEMA GRAL	36
3.27P102AC	SISTEMA GRAL	51
2.5P103AC	SISTEMA GRAL	13
2.5P104AC	SISTEMA GRAL	53.50
3.27P105AC	SISTEMA GRAL	60.00
3.27P106AC	SISTEMA GRAL	55.80
3.27P107AC	SISTEMA GRAL	100.00
3.27P108AC	SISTEMA GRAL	11.50
2.5P109AC	SISTEMA GRAL	193
3.27P110AC	SISTEMA GRAL	184
2.5P111AC	ALIMENTACION DE H ₂ O	200
3.27P112AC	SISTEMA GRAL	150
3.27P113AC	ALIMENTACION DE VAPOR DE RED GRAL	190
3.27P114AC	ALIMENTACION DE VAPOR DE RED GRAL.	19

4.10.2 TABLA DE ACCESORIOS:

ACCESORIO	CANTIDAD	Le	ev
Valvula de compuerta	4	3.25	0.123
Valvula de globo	3	3	0.123
Codo 90°	6	30	0.123
T	6	5	0.123
Medidor de presion	5	---	---
Medidor de temperatura	2	---	---
Medidor de flujo	1	---	---
expansores	2	2	1
contraccion	1	1	.5
Codo 45°	2	4	0.2



4.11 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 TESIS: PROYECTO PARA LA INSTALACION
 DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN
 MICROPROCESADORES PARA UN SISTEMA DE TRANSPORTE
 Y CALENTAMIENTO DE UN LIQUIDO
 FEAS ROJAS VEEI FACILIDAD DE QUIMICA U.N.A.M.

5.INGENIERIA DE DETALLE

5.1 FORMAS DE ESPECIFICACION DE INSTRUMENTOS, ELEMENTOS PRIMARIOS Y VALVULAS DE CONTROL.

En el siguiente documento se especifica las características de los componentes del sistema de control de acuerdo a los estándares que dicta la Instrument Society of America y las características proporcionadas por los proveedores.

PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA.	VALVULAS SOLENOIDES FORMA DE ESPECIFICACION			HOJA: DE:
				REV.
	No.	FECHA	REVISION	CONTRATO
				FECHA
				APROV.:
IDENTIFICACION:	SV-101	SV-102	SV-103	
SERVICIO:	ALIMENTACION DE AGUA AL SISTEMA	ALIMENTACION DE VAPOR AL SISTEMA	ALIMENTACION DE VAPOR AL SISTEMA	
No. LINEA:	2.5P111AC	3.7P111AC	3.7P113AC	
CANTIDAD:	1	1	1	
TIPO:	2 VIAS	2 VIAS	2 VIAS	
TAMANO				
CUERPO-PUERTO:	1"	1.5"	1.5"	
CLASIFICACION	ROSCADA	ROSCADA	ROSCADA	
V TIPO CONECC.:	NPT HEMBRA	NPT HEMBRA	NPT HEMBRA	
MATERIAL-CUERPO:	BRONCE	BRONCE	BRONCE	
MATERIAL-SELLO:	TEFLON	TEFLON	TEFLON	
OPERACION:	DIRECTA	DIRECTA	DIRECTA	
2 VIAS ABIERTA/ CERRADA:	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	
VOLTAJE-Hz.:	24 V	24 V	24 V	
FLUIDO:	AGUA-LIQ.	VAPOR	VAPOR	
TEMP.NORM.-MAX.:	25 C	120 C	120 C	
G.E. DE OPER.:	1	.95	.95	
VISCOSIDAD DE OPER	1cp	1cp	1cp	
Cv DE LA VALV.	0.068	0.080	0.080	
NOTAS:				

PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA.	VALVULAS DE CONTROL FORMA DE ESPECIFICACION			HOJA : DE:
	No.	FECHA	REVISION	REV.
				CONTRATO
				APROV. :
IDENTIFICACION:	LCV-102	LCV-103	TCV-104	TCV-105
SERVICIO:	CONTROL DE FLUJO.	CONTROL DE FLUJO.	CONTROL DE FLUJO.	CONTROL DE FLUJO.
No. DE LINEA:	3.7P110AC	2.5P115AC	3.7P114AC	3.7P113AC
FUNCION:	CTRL FLUJO	CTRL FLUJO	CTRL FLUJO	CTRL FLUJO
TIPO CUERPO:	MFR STD	MFR STD	MFR STD	MFR STD
TAMANO CUERPO-PUERTO:	4.25x2.62"- 1"	4.25x2.62"- 1"	4.25x2.62"- 1"	4.25x2.62"- 1"
CLASIFICACION Y TIPO DE CONECC.:	ROSCADA NPT HEMBRA	ROSCADA NPT HEMBRA	ROSCADA NPT HEMBRA	ROSCADA NPT HEMBRA
MATERIAL CUERPO:	HIERRO DUCTIL	HIERRO DUCTIL	HIERRO DUCTIL	HIERRO DUCTIL
MATERIAL EMPAQUE:	TEFLON	TEFLON	TEFLON	TEFLON
TIPO DE SELLO:	L	L	L	L
MATERIAL SELLO:	TEFLON	TEFLON	TEFLON	TEFLON
TIPO DE ACTUADOR:	MOTOR	MOTOR	MOTOR	MOTOR
SUMINISTRO DEL ACTUADOR:	24 V.A.C.	24 V.A.C.	24 V.A.C.	24 V.A.C.
SEÑAL DE COMANDO:	4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA
UNIDADES DE FLUJO:	m ³ /s LIQ.	m ³ /s LIQ.	m ³ /s VAP.	m ³ /s VAP.
FLUIDO:	AGUA LIQ.	AGUA LIQ.	VAP. AGUA	VAP. AGUA
CV DE LA VALV.:	6.4	6.4	6.4	6.4
TEMP. DE OPER.:	60 C	60 C	120 C	120 C
ΔP DE LA VALV.:	150 PSI	150 PSI	7 Kg/cm ²	7 Kg/cm ²
NOTAS:				

PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA.	TERMOPARES			HOJA: DE:	
	FORMA DE ESPECIFICACION			REV.	
	No.	FECHA	REVISION	CONTRATO	FECHA
					APROV.:
IDENTIFICACION:	TIC-111	TT-115	TT-116		
SERVICIO:	ENVIAR TEMP. DE ENTRADA A EA-101	ENVIAR TEMP. DE SALIDA DE EA-101	ENVIAR TEMP. DE SALIDA EN EA-102		
LINEA N :	3.7P106AC	3.7P107AC	3.7P108AC		
CANTIDAD:	1	1	1		
ISA TIPO:	"K"	"K"	"K"		
BANDA:	0 a 400 C	0 a 400 C	0 a 400 C		
PRESICION:	+ 1% DE LA - BANDA TOTAL	+ 1% DE LA - BANDA TOTAL	+ 1% DE LA - BANDA TOTAL		
TIEMPO DE RESPUESTA:	5 SEG MAXIMO/ 63% DE CAMBIO	5 SEG MAXIMO/ 63% DE CAMBIO	5 SEG MAXIMO/ 63% DE CAMBIO		
COEFICIENTE DE TEMPERATURA:	1 mA/ C NORM.	1 mA/ C NORM.	1 mA/ C NORM.		
ESTABILIDAD:	+0.1 C/MES MAX.	+0.1 C/MES MAX.	+0.1 C/MES MAX.		
LINEALIDAD:	+ 1% DEL RANGO - TOTAL	+ 1% DEL RANGO - TOTAL	+ 1% DEL RANGO - TOTAL		
NOTAS:					

PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA.	CONTROLADOR FORMA DE ESPECIFICACION			HOJA: DE:
	No.	FECHA	REVISION	REV. CONTRATO FECHA
				APROV.:
IDENTIFICACION:	LC-101	LC-122	TC-123	TC-124
FUNCION:	CONTROL			
CASO:	MFR STD			
MONTAJE:	GABINETE			
SUMINISTRO DE CORRIENTE:	24 V. D. C.			
MODOS DE CONTROL:	P-P1-PID			
ACCION:	INC-DEC			
AJ. PUNTO FIJO:	REMOTO			
SALIDAS:	4-20 mA			
SEÑAL DE ENTRADA:	4-20 mA			
No. DE ENTRADAS:	10			
No. DE SALIDAS:	8			
FABRICANTE:	BRISTOL BABCOCK INC.			
MODELO:	DPC-333010A2			
NOTAS:				

PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES <small>INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA.</small>	INSTRUMENTOS DE NIVEL FORMA DE ESPECIFICACION			<small>HOJA : DE :</small> <small>REV. :</small>
	<small>No.</small>	<small>FECHA</small>	<small>REVISION</small>	<small>CONTRATO</small> <small>FECHA</small> <small>APROV. :</small>
IDENTIFICACION:	LT-113	LT-114		
SERVICIO:	NIVEL EN DA-101	NIVEL EN DA-102		
APLICACION:	NIVEL LIQ.	NIVEL LIQ.		
FUNCION:	TRANSMISOR	TRANSMISOR		
TIPO:	ULTRASONICO	ULTRASONICO		
SUMINISTRO ELECTRICO:	120 V.A.C.	120 V.A.C.		
SEÑAL DE SALIDA:	4-20 mA	4-20 mA		
INDICADOR DE SALIDA:	TIPO CIEGO	TIPO CIEGO		
CLASIFICACION AMB.:	NEMA 4	NEMA 4		
MAT. TRANSNSDUCTOR:	PVC-SILICON	PVC-SILICON		
MAT. TRANSMISOR:	POLIESTER	POLIESTER		
MONTAJE DE TRANS.:	YUGO 2" DIAM.	YUGO 2" DIAM.		
MONTAJE DE TRANSMI.:	PARED	PARED		
CABLE DE INTERC.:	TIPO COAXIAL	TIPO COAXIAL		
LONGITUD:	7.5m	7.5m		
PRESION :	ATM	ATM		
TEMP. DE OP.:	60 C	60 C		
FABRICANTE :	FISCHER&PORTER	FISCHER&PORTER		
MODELO:	50US3212ABB	50US3212ABB		
NOTAS:				

PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA.	INSTRUMENTOS DE PRESION FORMA DE ESPECIFICACION		HOJA: DE:	
			REV.	
	No.	FECHA	REVISION	CONTRATO FECHA
				APROY.:
IDENTIFICACION:	FT-101	PDT-101		
SERVICIO:	TRANS. DE FLUJO DE AGUA EN SIST.	TRANS. DE PRESION DIF. SOBRE LA BOMBA.		
CASO:	MFR. STD.	MFR. STD.		
FUNCION:	TRANSDUCTOR	TRANSDUCTOR		
BANDA:	0 - 400 in H2O	0 - 400 in H2O		
SUMINISTRO ELECTRICO:	24 V.D.C.	24 V.D.C.		
SEÑAL DE SALIDA:	4-20 mA	4-20 mA		
INDICADOR DE SALIDA:	TIPO CIEGO	TIPO CIEGO		
CUERPO:	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON		
MAT. DIAFRAGMA:	AC. INOX. 316	AC. INOX. 316		
MAT. CABEZA:	AC. INOX. 316	AC. INOX. 316		
MONTAJE DE TRANS.:	YUGO 2" DIAM.	YUGO 2" DIAM.		
MONTAJE DE TRANSMI.:	PARED	PARED		
CONEXION PROC.:	0.5 in NPT	0.5 in NPT		
LONGITUD/ALTO:	24.6 cm/19 cm	24.6 cm/19cm		
PESO NETO:	7 Kg	7 Kg		
TEMP. DE OP.:	60 C	60 C		
FABRICANTE :	HONEYWELL	HONEYWELL		
MODELO:	STD924-A1H	STD924-A1H		
NOTAS:				

PROYECTO PARA LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADORES INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA.	INSTRUMENTOS DE PRESION FORMA DE ESPECIFICACION		HOJA: DE:	
			REV.	
	No.	FECHA	REVISION	CONTRATO FECHA
				APROV.:
IDENTIFICACION:	PDI-102	PT-103, PT-104		
SERVICIO:	TRANS. DE PRESION DIF. SOBRE LA VALV.	TRANS. DE PRESION DE VAPOR DE ALIMENT. A CAMB.		
CASO:	MFR. STD.	MFR. STD.		
FUNCION:	TRANSDUCTOR	TRANSDUCTOR		
BANDA:	0 - 400 in H2O	0 - 400 in H2O		
SUMINISTRO ELECTRICO:	24 V. O. C.	24 V. D. C.		
SEÑAL DE SALIDA:	4-20 mA	4-20 mA		
INDICADOR DE SALIDA:	TIPO CIEGO	TIPO CIEGO		
CUERPO:	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON		
MAT. DIAFRAGMA:	AC. INOX. 316	AC. INOX. 316		
MAT. CABEZA:	AC. INOX. 316	AC. INOX. 316		
MONTAJE DE TRANS.:	YUGO 2" DIAM.	YUGO 2" DIAM.		
MONTAJE DE TRANSMI.:	PARED	PARED		
CONEXION PROC.:	0.5 in NPT	0.5 in NPT		
LONGITUD/ALTO:	24.6 cm/19 cm	24.6 cm/19cm		
PESO NETO:	7 Kg	7 Kg		
TEMP. DE OP.:	60 C	60 C		
FABRICANTE :	HONEYWELL	HONEYWELL		
MODELO:	STD924-AIH	STD924-AIH		
NOTAS:				

5.2 DIRECCIONAMIENTO DE SEÑALES LOGICAS Y ANALOGICAS

Este documento especifica las señales de campo que entran y salen del equipo de control en las ranuras correspondientes del equipo de control.

ARANURA NO. 1
SALIDA DIGITAL (DO)

CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO.
1	SV-101
2	SV-102
3	SV-103
4	ESL-1

ARANURA NO. 2
ENTRADA BAJO NIVEL (L.L.I)

CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO.
1	TT-115
2	TT-116
3	TT-111
4	

ARANURA NO. 3
ENTRADA ANALOGICA (A.I)

CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO.
1	LT-113
2	LT-114
3	FT-101
4	PDT-101

ARANURA NO. 4
ENTRADA ANALOGICA (A.I)

CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO.
1	PDT-102
2	PT-103
3	PT-104
4	

ARANURA NO. 5
SALIDA ANALOGICA (A.O)

CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO.
1	LCV-102
2	LCV-103

ARANURA NO. 6
SALIDA ANALOGICA (A.O)

CANAL	INSTRUMENTO DE CAMPO.
1	TCV-104
2	TCV-115

5.3 LISTA DE MATERIALES.

En este documento se enlista el equipo y el material necesario para que se ponga en funcionamiento el sistema de control.

- UNA UNIDAD DE CONTROL DISTRIBUIDO DE PROCESO DPC-3330 BRISTOL BABCOCK. CON BASE PARA 12 MODULOS DE ENTRADA/SALIDA Y ADITAMENTOS NECESARIOS.
- UNA CAJA NEMA 4 PARA MONTAJE EN LA PARED O TABLERO DE LA UNIDAD DPC-3330 BRISTOL BABCOCK.
- MODULOS DE ENTRADA/SALIDA PARA DPC-3330 BRISTOL BABCOCK. :
 - 2 TARJETAS DE SALIDA ANALOGICA (AO).
 - 2 TARJETA DE ENTRADA ANALOGICA(AI).
 - 1 TARJETA DE SALIDA DISCRETA (DO).
 - 1 TARJETA DE ENTRADA DE BAJO NIVEL (LLI).
- UNA PC 486 A 120MHz., 1 PTO.SERIAL, 1 PTO. PARALELO, MOUSE, COPROCESADOR NUMERICO UNIDAD DE DISCO DURO DE 240 M, MONITOR S.V.G.A. DE 19" Y DRIVE DE 3.5.
- DOS TRANSMISORES DE NIVEL ULTRASONICO.
- CUATRO VALVULAS CON ACTUADOR DE HIERRO DUCTIL.
- UNA VALVULA SOLENOIDE.
- 100 m DE CABLE PARA INSTRUMENTOS 2 x 16"
- 100 m DE CONDUIT
- 100m DE CABLE DE EXTENSION PARA TERMOPAR.
- SOFTWARE:PAQUETE COMPLETO DE PROGRAMAS :
 - ACCOL-II DE BRISTOL BABCOCK INC.
 - SISTEMA FIX DE INTELLUTION INC.
- CINCO TRANSMISORES DE PRESION DIFERENCIAL.
- UN ARRANCADOR PARA BOMBA DE 0.5 HP'S.
- SEIS BRIDAS DE 1".
- TRES PLACAS DE ORIFICIO.
- TRES TERMOPARES TIPO "K".

5.4 ESTIMADO DEL COSTO FIJO DEL PROYECTO

El estimado corresponde al 90% del costo fijo del proyecto ya que no considera gastos de instalación ni por materiales menores.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (U. S. D.LLS.)	PRECIO TOTAL (U. S. D.LLS.)
1	<p>UNIDAD DE CONTROL DISTRIBUIDO DE PROCESO D. P. C. - 3330. CONSISTENTE EN UNA UNIDAD BASE PARA 12 MODULOS E/S EN CAJA NEMA PARA MONTAJE EN PARED O TABLERO; CON ALIMENTACION A 24 V.C.D. MODELO: 33301DA2.</p> <p>NOTA: ESTA UNIDAD BASE SE COMPLEMENTA CON LOS SIGUIENTES ADITAMENTOS 3330-A; B; C; Y D. COMO SIGUE:</p>	2,895.00	2,895.00
1	<p>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.</p> <p>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)</p> <p>NOTA: PARA ACOMODAR DE CUALQUIERA DE LOS MODULOS QUE SE INCLUYEN A CONTINUACION.</p>	560.00	560.00
3	<p>MODULO DE ENTRADA ANALOGICA (CODIGO: 5) DE BAJO NIVEL. CANTIDAD DE ENTRADAS: 4.</p>	1,055.00	1,055.00
2	<p>MODULO DE SALIDA ANALOGICA (CODIGO: 7) CANTIDAD DE SALIDAS: 2 BANDA DE SALIDA: 1 A 5 V. C. D. / 4-20 m.A.</p>	435.00	870.00

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (U. S. D.LLS.)	PRECIO TOTAL (U. S. D.LLS.)
2	MODULO DE ENTRADAS ANALOGICA (CODIGO: 2) CANTIDAD DE ENTRADAS:4 RANGO DE ENTRADA: 4-20 mA	630.00	1,260.00
1	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.	245.00	245.00
1	ADITAMENTO 3330-D UNIDAD DE DISPLAY Y TECLADO INTEGRAL . MOD.:3330-D-200	450.00	450.00
1	FUENTE DE ALIMENTACION N/P 390214-01-9. ALIMENTACION: 120 V. 60 MHz. SALIDA: 24 V.C.D. CAPACIDAD: 86.4 W	540.00	540.00
1	PAQUETE PROGRAMAS (SOFTWARE) ACCOL-II, INCLUYE: AIC 5.10. ABC 5.10. TOOLKIT 5.4.	2000.00	2000.00
1	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.	8000.00	8000.00
1	ARRANCADOR PARA BOMBA CON CONTACTOR	224.40	224.40
5	TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL BANDA:0-400 in H2O SALIDA 4-20 mA ALIMENTACION 24 V.D.C.	1018.80	5094.00

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (U. S. D.LL5.)	PRECIO TOTAL (U. S. D.LL5.)
2	VALVULA ACTUADA CON MOTOR ELECTRICO MOD. IIF1139-0A1014 CUERPO DE HIERRO DUCTIL CONECC. ROSCADA 1/2 INCH SERVICIO: AGUA.	2,281.12	9,524.48
2	TRANSMISOR DE NIVEL MODELO: 5093212ABB TIPO ULTRASONICO	2,865.00	5,730.00
3	VALVULA SOLENOIDE MODELO: G98500-20 NDRNALMENTE CERRADA	164.15	492.45
1	FUENTE DE PODER ININTERRUPTIBLE PARA DPC Y PC DE 1KVA	208.00	208.00
3	TERMOPAR TIPO K RANGO 0-400 C	36.36	109.08
1	PC 486 120 MHz. 250 M RAM. MONITOR SYGA 19" 1 PTO SERIE 1 PTO. PARALELO. COPROCESADDR NUM. MOUSE. DRIVE 3.5	2000.00	2000.00
100m	TUBO CONDUIT 1/2" ETQ. AMARILLA C/ROSCA	7.98	798.00
100m	CABLE PARA INSTRUMENTOS 2*16 ROSCADO CON PORTECCION HILADA	5.00	500.00
100m	CABLE DE EXTENSION PARA TERMOPAR	8.00	800.00
6	BRIDAS 1"	10.00	60.00
1	PLACA DE ORIFICIO 1"	45.00	45.00
TOTAL:			43,460.41

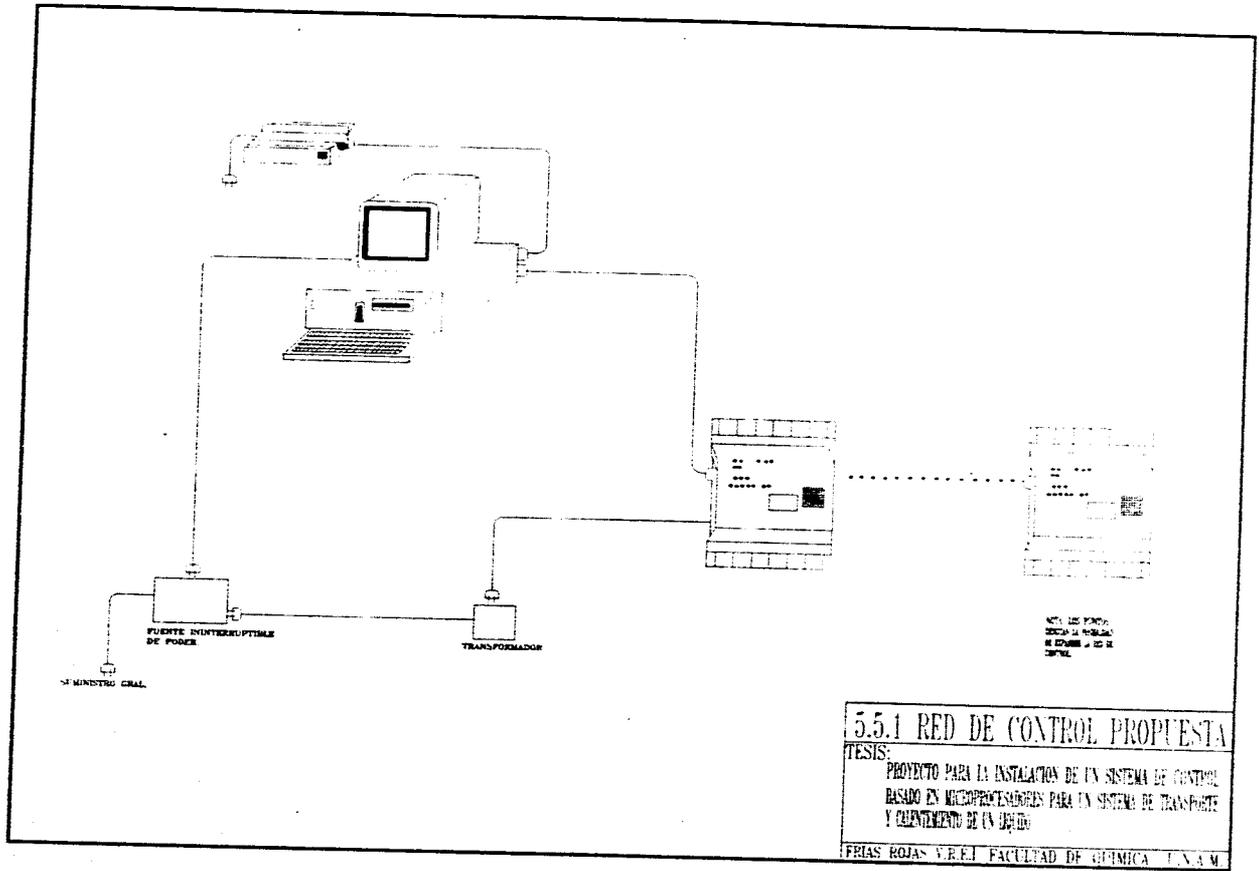
La cotización se realizó en dolares americanos para darle mayor vigencia al estimado.

ESTIMADO TOTAL:	43,460.41 U. S. D.LL5.
------------------------	-------------------------------

5.5 RED DE CONTROL PROPUESTA.

El sistema de transporte y calentamiento de un líquido utiliza seis tarjetas de entrada-salida de señal en el equipo de control DPC-3330 (distributed process controller) propuesto y especificado en puntos anteriores, por lo que deja libre seis ranuras de inserción de tarjetas para la integración de otro equipo del laboratorio debidamente analizado, además de esto el equipo brinda la posibilidad de estar enlazado con otros DPC-3330 (distributed process controller) de tal forma que quedaran incluidos absolutamente todos los equipos del Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química (analizando previamente cada uno de ellos) ya que se puede ensamblar una red de hasta 227 DPC-3330 (distributed process controller), cada equipo además dado sus cuatro puertos de comunicación permite la implementación de distintos medios de interfase, como son impresoras, pantallas, etc, instalados cerca de los equipos del laboratorio o estar enlazados en número definido de medios de interfase instalados en puntos seleccionados del laboratorio.

En el diagrama siguiente se propone ensamblar la red de control y todos los DPC (distributed process controller) conectados a una sola computadora supervisoria, que deberá estar previamente configurada.



6. SIMBOLOS UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO

SIMBOLO	CANTIDAD	UNIDADES
A	AREA	m^2
A _i	AREA DEL TUBO "i"	m^2
A _j	AREA DEL TUBO "j"	m^2
A _N	AREA DEL TRAMO "N" DE TUBERIA	m^2
AT	AREA DEL TANQUE	m^2
A _{tubo i}	AREA DEL TRAMO DE TUBO "i"	m^2
c _p	CALOR ESPECIFICO DEL H2O	J/Kg _o K
d _i	DIAMETRO DEL TUBO "i"	m
d _j	DIAMETRO DEL TUBO "j"	m
E _f	PERDIDAS POR FRICCION EN TUBERIA	$\frac{m^2}{s^2}$
E _a	PERDIDAS POR FRICCION EN ACCESORIOS	$\frac{m^2}{s^2}$
F _e	FLUJO VOLUMETRICO DE ENTRADA	$\frac{m^3}{s}$
F _s	FLUJO VOLUMETRICO DE SALIDA	$\frac{m^3}{s}$
FEDA-101	FLUJO VOLUMETRICO DE ENTRADA A DA-101	$\frac{m^3}{s}$
FSDA-101	FLUJO VOLUMETRICO DE SALIDA A DA-101	$\frac{m^3}{s}$
FEDA-102	FLUJO VOLUMETRICO DE ENTRADA A DA-102	$\frac{m^3}{s}$
FSDA-102	FLUJO VOLUMETRICO DE SALIDA A DA-102	$\frac{m^3}{s}$
FEEA-101	FLUJO VOLUMETRICO DE ENTRADA A EA-101	$\frac{m^3}{s}$
FSEA-101	FLUJO VOLUMETRICO DE SALIDA A DA-101	$\frac{m^3}{s}$
FEEA-102	FLUJO VOLUMETRICO DE ENTRADA A EA-102	$\frac{m^3}{s}$
FSEA-102	FLUJO VOLUMETRICO DE SALIDA A DA-102	$\frac{m^3}{s}$
f _i	FACTOR DE FRICCION DE COLEBROOK	adim
g	CONSTANTE GRAVITACIONAL	$\frac{m^2}{s^2}$
h	NIVEL EN EL TANQUE DA-101 O DA-102	m
h _t	COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR	W/m _o K
h _{DA-101}	NIVEL EN EL TANQUE DA-101	m
h _{DA-102}	NIVEL EN EL TANQUE DA-102	m
K	ENERGIA CINETICA	Kg m ² /s ²
K _{a i}	CTE. DE PERDIDAS EN EL ACCESORIO "i"	adim
K _i	ENERGIA CINETICA EN EL TUBO "i"	Kg m ² /s ²
K _{TOT}	ENERGIA CINETICA TOTAL	Kg m ² /s ²
l _i	LONGITUD DE TUBERIA "i"	m
M	PESO MOLECULAR	Kg/Kgmol
N	ULTIMO TRAMO DE TUBERIA EN EL SISTEMA	adim

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

n	EXPONENTE UNICO DE LA BOMBA	adim
P	PRESION EN EL SISTEMA	Pa
P _v	PRESION DE VAPOR DE AGUA	Kg/cm ²
Q	TRANSFERENCIA DE CALOR	J / s
R	CTE. GRAL. DEL EDO. GASEOSO	m ³ Pa/oK mol
Re	NUMERO DE REYNOLDS	adim
R _h	RADIO HIDRAULICO	m
T	TEMPERATURA	oC
T _v	TEMPERATURA DE VAPOR	oC
T _{amb}	TEMPERATURA AMBIENTE	oC
t	TIEMPO	s
U _{TOT}	ENERGIA INTERNA TOTAL	Kg m ² /s ²
V	VOLUMEN	m ³
V _{EA-101}	VOLUMEN EN EL CAMBIADOR EA-101	m ³
V _{EA-102}	VOLUMEN EN EL CAMBIADOR EA-102	m ³
V _{tubol}	VOLUMEN EN EL TRAMO DE TUBO "1"	m ³
V _T	VOLUMEN DE EL TANQUE DA-101 O DA-102	m ³
v	VELOCIDAD	m / s
v _e	VELOCIDAD DE ALIMENTACION AL SISTEMA	m / s
v _i	VELOCIDAD EN EL TRAMO "1" DE TUBERIA	m / s
v _j	VELOCIDAD EN EL TRAMO "j" DE TUBERIA	m / s
v _N	VELOCIDAD EN EL ULTIMO TRAMO DE TUBERIA	m / s
w	GASTO MASICO	Kg/s
w _i	GASTO MASICO EN EL TRAMO DE TUBERIA "1"	Kg/s
w _j	GASTO MASICO EN EL TRAMO DE TUBERIA "j"	Kg/s
w _N	GASTO MASICO EN EL ULTIMO TRAMO DE TUBERIA A	Kg/s
Z	ALTURA DEL SISTEMA	m
Z _I	ALTURA EN EL PUNTO DE REFERENCIA I	m
Z _{II}	ALTURA EN EL PUNTO DE REFERENCIA II	m
α	COEFICIENTE UNICO DE LA BOMBA	Pa
β	COEFICIENTE UNICO DE LA BOMBA	Pa
Δ	DIFERENCIA ENTRE EL ESTADO II Y I	adim
Φ _{TOT}	ENERGIA POTENCIAL TOTAL	Kg m ² /s ²
ρ, ρ ₁ , ρ ₁ , ρ _N , ρ _j	DENSIDAD DEL AGUA EN EL SISTEMA	Kg / m ³

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrollaron los modelos dinámicos necesarios para representar al sistema de transporte y calentamiento de un líquido instalado en el laboratorio de ingeniería química de la facultad de química, dichos modelos permiten observar el comportamiento del sistema con respecto al tiempo. Se trata de un sistema no lineal de doce ecuaciones diferenciales de primer orden, el cual se resolvió mediante el uso de un algoritmo Runge-Kutta de cuarto orden para ecuaciones diferenciales, cabe señalar que el uso de este tipo de método puede crear oscilaciones debido a la naturaleza de las ecuaciones (principalmente a las ecuaciones de control), se sugiere utilizar un método que cumpla con la condición de ser rígidamente A-estable (método de GEAR).

Este mismo planteamiento del modelo del sistema es tan general que permite no sólo utilizarlo en el sistema de transporte y calentamiento de un líquido, si no que permite en un futuro utilizarlo para una red de tubería, un sistema de servicio de enfriamiento, un sistema de servicio de calentamiento, etc.

Acerca de las ecuaciones de control se probó el sistema mediante el uso de controladores proporcionales los cuales provocan una desviación del valor deseado al estado estacionario ("OFFSET"), evitando que el sistema pueda llegar a sus valores de punto fijo, esto es, los aproxima, ya sea por debajo o por arriba del valor de punto fijo. Por lo cual se probó adicionalmente el uso de controladores proporcional-integral para los tanques, los cuales eliminan el "OFFSET", que permiten lograr que el sistema alcance los valores de punto fijo.

Se propusieron diversas configuraciones de control que permiten al lector observar que para un mismo objetivo de control existen varias propuestas y con el conocimiento del comportamiento dinámico del sistema se elegirá la correcta, este conocimiento del comportamiento dinámico lo proporciona la programación del mismo (es decir una simulación mediante el uso de una computadora); ésta permite la variación de distintos parámetros del modelo dinámico, así como la variación de los parámetros de las ecuaciones de control, para conocer las condiciones óptimas de operación y ser utilizada como una herramienta de entrenamiento para el operador.

Este tipo de trabajo plantea el uso de un sistema de control distribuido, ya que abre la posibilidad de integrar al equipo de control en una red de control que involucre a varios equipos del laboratorio. Este tipo de redes permite mediante distintos medios de interfase, conocer los resultados y comportamientos de operación de distintos equipos del laboratorio funcionando simultáneamente.

Se especificaron los instrumentos de acuerdo a los estándares que dicta la Instrument Society of America y a la información proporcionada por los fabricantes.

El estimado del costo fijo del proyecto se realizó en dólares americanos debido a que los proveedores cotizan en dolares los equipos e instrumentos necesarios, ya que son de importación, y esto le confiere un carácter más actual al estimado. El estimado se realizó mediante la recolección de precios con distintos proveedores.

Se especificó en el documento el direccionamiento de señales lógicas y analógicas, la disponibilidad de tarjetas, canales y las señales de campo que deben entrar a cada canal; éstas son insertadas en el equipo de control (distributed process controller), cabe mencionar que el

sistema requiere de seis tarjetas, por lo que quedan libres seis canales que podrían ser utilizados por otro equipo del laboratorio.

Hoy en día un gran número de empresas importantes operan sus procesos, utilizando equipos de control distribuido, con gran éxito debido a su fácil configuración, la amplia variedad de señales de entrada y salida que manejan, a sus protocolos de comunicación que le permiten comunicarse con otros equipos, y a la posibilidad de ser instalados cerca del proceso que está siendo controlado.

La instalación de un equipo de control con estas características en el Laboratorio de Ingeniería Química permitirá al alumno enfrentar las exigencias de capacitación en la actualidad.

8. REFERENCIAS

- 1.- DONALD Q. KERN. PROCESS HEAT TRANSFER. Mc.GRAW-HILL Ed.20, 1988.
- 2.- WILLIAM L. LUYBEN. PROCESS MODELING, SIMULATION, AND CONTROL FOR CHEMICAL ENGINEERS.Mc.GRAW-HILL Ed.2, 1988.
- 3.- STEPHANOPOULOS GEORGE CHEMICAL PROCESS CONTROL. PRENTICE HALL Ed.2, 1988.
- 4.- CHAPRA STEVEN C. NUMERICAL METHODS FOR ENGINEERS. Mc.GRAW-HILL Ed.2, 1990.
- 5.- HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS. THE CHEMICAL RUBBER PUBLISHING Co.
- 6.- T.H. TSAI, J.W. LANE, C.S. LIN. MODERN CONTROL TECHNIQUES FOR THE PROCESSING INDUSTRIES. MARCEL DEKKER U.S.A. 1986.
- 7.- INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA GRAPHIC SYMBOLS FOR DISTRIBUTED CONTROL/SHARED DISPLAY INSTRUMENTATION. LOGIC. AND COMPUTER SYSTEMS. Ed. ISA, 1988.
- 8.- INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA SPECIFICATION FORMS FOR PROCESS MEASUREMENT AND CONTROL INSTRUMENTS. PRIMARY ELEMENTS AND CONTROL VALVES. ,Ed. ISA, 1988.
- 9.- INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA INSTRUMENTATION SIMBOLS AND IDENTIFICATION. ,Ed. ISA, 1988.
- 10.- VICTOR L.STREETER MECANICA DE LOS FLUIDOS, OCTAVA EDICION, Mc.Graw Hill, 1986.
- 11.- R.B.BIRD STEWART FENOMENOS DE TRANSPORTE, Ed. 1, REPLASA S.A., 1987.