

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

**MODELO DIDÁCTICO DE APRENDIZAJE CON MÓDULOS DE
LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

PATRICIO ESCOBAR GONZALEZ


DIRECTOR: Ing. Mst. LUIS TAPIA C.

Quito, Marzo del 2002

DECLARACION

Yo Patricio Escobar González, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es mi autoria; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Patricio Escobar González

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Patricio Escobar González,
bajo mi supervisión



.....

Ing. Mst. Luis Tapia C.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional, al cuerpo Docente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y en especial al señor Ing. Luis Tapia C., Director del proyecto, quien, con su sabiduría y dedicación, supo guiarme en el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres Cristóbal y María Luisa, quienes ha forjado en mi el sendero del éxito.

A mi esposa Miriam por su comprensión y ayuda.

En especial a mis hijos Xavier, Cristina y David como testimonio de la perseverancia para alcanzar el éxito.

INDICE GENERAL

Título.....	I
Declaración.....	II
Certificación.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Índice General.....	VI
Introducción.....	IX

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1 El proceso de aprendizaje y las teorías educativas.....	1
1.1.1 Introducción.....	1
1.1.2 Teorías de aprendizaje.....	2
1.2.2.1 El enfoque conductista.....	2
1.2.2.2 Enfoque cognitivista.....	3
1.2 Instrumentación didáctica.....	6
1.2.1 Conceptos generales.....	6
1.2.2 La instrumentación didáctica en la perspectiva de la didáctica crítica.....	7
1.2.2.1 Formulación de los objetivos de aprendizaje.....	9
1.2.2.2 Selección y organización del contenido	10
1.2.2.3 Planeación de situaciones de aprendizaje	11
1.2.2.4 Problemática de la evaluación en la didáctica crítica	12
1.3 Teoría del control moderno	14
1.3.1 Definiciones básicas en teoría de control	14
1.3.2 Sistemas de control	16
1.3.2.1 Sistemas de circuito abierto	16
1.3.2.2 Sistemas de circuito cerrado	17
1.3.2.3 Sistemas de ciclo cerrado reguladores	18
1.3.2.4 Sistemas de ciclo cerrado seguidores o de seguimiento	19
1.3.2.5 Sistema de control con múltiples variables	20
1.3.3 Características de un sistema de control	21
1.3.3.1 Estabilidad	21
1.3.3.2 Exactitud	21
1.3.3.3 Velocidad de respuesta	22
1.3.4 Clasificación de los controles automáticos	22
1.3.4.1 Acción de control de dos posiciones o de sí/no	23
1.3.4.2 Acción de control proporcional	24
1.3.4.3 Acción de control integral	24

1.3.4.4 Acción de control proporcional e integral	25
1.3.4.5 Acción de control proporcional y derivativo	25
1.3.4.6 Acción de control proporcional, derivativo e integral	26

CAPITULO II: DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LOS MODULOS DIDÁCTICOS, ESTRUCTURA E INSTALACIONES

2.1 Descripción general del estado físico y ubicación de los módulos didácticos.....	27
2.1.1 Módulo de control de presión.....	28
2.1.2 Módulo de control de flujo.....	28
2.1.3 Módulo de control de nivel.....	29
2.1.4 Módulo de control de temperatura	29
2.1.5 Banco de pruebas y equipo portátil.....	29
2.2 Estado en que se encuentran los equipos.....	30
2.3 Estructura e instalaciones.....	30
2.4 Descripción del sistema	31
2.4.1 Microcontrolador	31
2.4.1.1 Modos de operación	32
2.4.1.2 Ajustes y controles del operador	32
2.4.1.3 Operación en modo normal	35
2.4.1.4 Reconocimiento de alarmas	35
2.4.1.5 Presentación de los parámetros de alarma	36
2.4.1.6 Aplicaciones del microcontrolador Foxboro 761	37
2.4.2 El Registrador de Papel	38
2.4.3 Alimentación	39
2.4.4 Descripción de los módulos de proceso	39
2.4.4.1 Módulo de control de presión	40
2.4.4.2 Módulo de control de flujo	42
2.4.4.3 Módulo de control de nivel	44
2.4.4.4 Módulo de control de temperatura	46
2.4.4.5 Computador	47

CAPITULO III MODELO DIDÁCTICO DE APRENDIZAJE

3.1 Introducción	48
3.2 Estructura del modelo físico	49
3.2.1 Estructura física e instalaciones	50
3.2.2 Equipos, muebles y herramientas	50

3.3 Estructura del modelo didáctico	53
3.3.1 Tema de estudio	54
3.3.2 Objetivos de estudio	54
3.3.3 Trabajo preparatorio	54
3.3.4 Información Teórica	55
3.3.5 Equipo requerido	55
3.3.6 Procedimiento	55
3.3.7 Análisis de resultados	56
3.3.8 Informe – cuestionario	56
3.3.9 Conclusiones y recomendaciones	56
3.3.10 Bibliografía	56

CAPITULO IV MODELO DE APLICACION PRACTICA

4.1 Introducción	57
4.2 Modelo de Prácticas	58
4.2.1 Estación de proceso de nivel	58
4.2.2 Estación de proceso de flujo	64
4.2.3 Estación de proceso de presión	70
4.2.4 Módulo de proceso de temperatura	77

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones.....	84
B. Recomendaciones.....	85

BIBLIOGRAFÍA	87
--------------------	----

ANEXOS

- A. Guía del Estudiante
- B. Guía del Instructor
- C. Presupuesto

INTRODUCCION

El rápido avance en la tecnología de los instrumentos y el control de los procesos industriales ha aumentado el número de tareas realizadas por los técnicos de instrumentos en las plantas industriales. Entre estas tareas se cuentan: calibración, solución de problemas y reparación de instrumentos, que van desde el relé amplificador neumático hasta los controladores automáticos basados en un microprocesador. Para realizar estas tareas sin perjudicar la producción de la planta y los costos de mantenimiento, es fundamental contar con una correcta capacitación, la misma que se logra con el aprendizaje significativo basándose en la teoría y en la concretización del conocimiento mediante el uso de laboratorios o talleres debidamente equipados acorde con los requerimientos de la tecnología de punta.

Desde este punto de vista, el presente trabajo es una propuesta metodológica que permite concretizar el conocimiento teórico adquirido en el aula mediante un proceso didáctico que toma en cuenta un orden sistemático para llegar al objetivo de estudio.

La estructura del proyecto contiene los siguientes capítulos:

El capítulo I se refiere al Marco Teórico en el cual se basa la investigación del proyecto y se plantea la formulación del problema a investigar.

En el capítulo II se describe el estado actual de los módulos de control de procesos industriales que permitirán el aprendizaje, así como también un diagnóstico de las instalaciones y la infraestructura del laboratorio.

El capítulo III esta dedicado a la propuesta del modelo didáctico de aprendizaje, tomando en cuenta teorías pedagógicas que se ajusten a la realidad de nuestro entorno y a la necesidad tecnológica actual que permita el desarrollo de la industria en el país.

En el capítulo IV se muestran ejemplos de aplicación del modelo didáctico de aprendizaje, en el cual se resalta el proceso a seguir para las diferentes prácticas en las cuatro variables consideradas: presión, flujo, nivel y temperatura.

En el capítulo V se establecen las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto.

Se anexa:

- Guía metodológica para el alumno
- Guía para el instructor
- Presupuesto

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 EL PROCESO DE APRENDIZAJE Y LAS TEORÍAS EDUCATIVAS

1.1.1 INTRODUCCIÓN

El aprendizaje y las teorías que tratan los procesos de adquisición de conocimiento han tenido durante este último siglo un enorme desarrollo debido fundamentalmente a los avances de la psicología y de las teorías instruccionales, que han tratado de sistematizar los mecanismos asociados a los procesos mentales que hacen posible el aprendizaje.

El propósito de las teorías educativas es el de comprender e identificar estos procesos y a partir de ellos, tratar de describir métodos para que la instrucción sea más efectiva. Es en este último aspecto en el que principalmente se basa el diseño instruccional, que se fundamenta en identificar cuáles son los *métodos* que deben ser utilizados en el diseño del proceso de instrucción, y también en determinar en qué *situaciones* estos métodos deben ser usados.

De acuerdo con [Reigeluth, 1987], de la combinación de estos elementos (métodos y situaciones) se determinan los *principios* y las *teorías* del aprendizaje. Un *principio de aprendizaje* describe el efecto de un único componente estratégico en el aprendizaje de forma que determina el resultado de dicho componente sobre el alumno bajo determinadas condiciones.

A este respecto, el estudio de la mente y de los mecanismos que intervienen en el aprendizaje se ha desarrollado desde varios puntos de

vista basados en la misma cuestión fundamental, a saber: ¿Cuáles son las condiciones que determinan un aprendizaje más efectivo? [*Gagné, 1987*].

En un primer lugar, desde un punto de vista psicológico y pedagógico, se trata de identificar qué elementos de conocimiento intervienen en la enseñanza y cuáles son las condiciones bajo las que es posible el aprendizaje. Por otro lado, en el campo de la tecnología instruccional, se trata de sistematizar este proceso de aprendizaje mediante la identificación de los mecanismos y de los procesos mentales que intervienen en el mismo. Ambos campos van a servir de marco de referencia para el desarrollo de los sistemas de enseñanza basados en módulos didácticos y apoyados por computadora.

1.1.2 TEORÍAS DE APRENDIZAJE

Las teorías de aprendizaje desde el punto de vista psicológico han estado asociadas a la realización del método pedagógico en la educación. El escenario en el que se lleva a cabo el proceso educativo determina los métodos y los estímulos con los que se lleva a cabo el aprendizaje. Desde un punto de vista histórico, a grandes rasgos son tres las tendencias educativas que han tenido vigencia a lo largo de la educación: La educación social, la educación liberal y la educación progresista [*Holmes, 1999*].

1.1.2.1 El enfoque conductista

Para el conductismo, el modelo de la mente se comporta como una "caja negra" donde el conocimiento se percibe a través de la conducta, como manifestación externa de los procesos mentales internos, aunque éstos últimos se manifiestan desconocidos. De esta forma, el aprendizaje basado en este paradigma sugiere medir la efectividad en términos de resultados, es decir, del comportamiento final, por lo que

ésta está condicionada por el estímulo inmediato ante un resultado del alumno, con objeto de proporcionar una realimentación o refuerzo a cada una de las acciones del mismo.

Las críticas al conductismo están basadas en el hecho de que determinados tipos de aprendizaje sólo proporcionan una descripción cuantitativa de la conducta y no permiten conocer el estado interno en el que se encuentra el individuo ni los procesos mentales que podrían facilitar o mejorar el aprendizaje.

Las características que sustentan esta corriente pedagógica son:

- La misión del profesor es transmitir los conocimientos acumulados y sistematizados, por lo tanto, es la autoridad de la clase.
- La actividad educativa de la institución esta centrada en el docente.
- Se alienta el formalismo y la memorización
- No toma en cuenta diferencias individuales de los alumnos, a todos se les exige la misma respuesta en cantidad y calidad de conocimientos.
- El alumno se constituye en receptor pasivo
- Se acostumbra al verbalismo, es decir se toma en cuenta solo la palabra del profesor o la palabra del libro.
- Parte de lo simple a lo complejo.

1.1.2.2 Enfoque Cognitivista

Las teorías cognitivas tienen su principal exponente en el *constructivismo* [Bruner, 1966, Piaget, 1970]. El constructivismo en realidad cubre un espectro amplio de teorías acerca de la cognición que se fundamentan en que *el conocimiento existe en la mente como representación interna de una realidad externa* [Duffy and Jonassen,

1992]. El aprendizaje en el constructivismo tiene una dimensión individual, ya que al residir el conocimiento en la propia mente, el aprendizaje es visto como un proceso de construcción individual interna de dicho conocimiento [Jonassen, 1991].

El constructivismo, según Kilpatrick, basa sus resultados en dos premisas principales:

- El conocimiento es activamente construido por el sujeto cognoscente, no pasivamente recibido del entorno.
- Llegar a conocer es un proceso adaptativo que organiza el mundo experiencial de uno; no se descubre un independiente y preexistente mundo fuera de la mente del conocedor.

Según Moreno Armella, "El constructivismo no estudia la realidad, sino la construcción de la realidad".

Pedro Gómez expone en las siguientes ideas algunas de las características de esta posición y que parecen ser comunes a los constructivistas:

- Todo conocimiento es construido.
- Existen estructuras cognitivas que se activan en los procesos de construcción.
- Las estructuras cognitivas están en desarrollo continuo. La actividad con propósito induce la transformación de las estructuras existentes.
- Reconocer el constructivismo como una posición cognitiva conduce a adoptar el constructivismo metodológico.

Según Piaget, la adquisición de los conocimientos consiste en un proceso en el que las informaciones nuevas se incorporan a los esquemas o estructuras preexistentes en la mente de los alumnos, las mismas que se modifican y reorganizan según el mecanismo de asimilación y acomodación por la actividad del alumno.

La teoría de Vigotsky constituye uno de los paradigmas que más atracción ejerce en Psicología y Educación. El concepto que resulta indispensable para acercarse a la Teoría de Vigotsky es el de *Zona de Desarrollo Próximo*.

De acuerdo a esta teoría, el alumno en forma individual tiene la capacidad de aprender una serie de conocimientos que tienen que ver con el nivel de su desarrollo, pero se presentan otros conocimientos fuera de su alcance que pueden ser aprendidos con ayuda externa que tiene igual o mayor conocimiento. Este tramo de lo que puede hacer el alumno por sí mismo y lo que está en condiciones de aprender del entorno es lo que se define como "zona de desarrollo próximo".

La tesis de que el aprendizaje no sigue simplemente al desarrollo, sino que es, por el contrario, el que tira de él, como sostenía Vigotsky, será justamente ese aprendizaje que se dé a partir de desarrollos específicos ya establecidos, es decir, el aprendizaje que se produzca desde una zona de desarrollo actual, y hasta alcanzar los límites de autonomía posible desde esa base definidos por la zona de desarrollo próximo, sea el que permite develar la estructura característica del aprendizaje humano.

Las características que sustentan el constructivismo son:

- Educación eminentemente activa.
- Grupos de alumnos con personalidades y experiencias diferentes.
- Descubre intereses reales que pueden manifestarse.

- Apoyar el interés del alumno como resultado de la libre iniciativa, partiendo del conocimiento de las necesidades y experiencias del alumno.
- Se basa en la auto disciplina y cooperación.
- Presentación de situaciones de aprendizaje bajo formas variadas y orientadas a la composición por la movilización de los esquemas mentales de asimilación.
- Mayor efectividad en el logro del desarrollo de capacidades.
- Solidez en los conocimientos alcanzados, mediante la construcción del mismo.
- El conocimiento de la teoría, que le permite su uso, aplicación, implementación, estudio, análisis y evaluación lo más real posible.

1.2 INSTRUMENTACION DIDACTICA

1.2.1 CONCEPTOS GENERALES

La concepción de aprendizaje condiciona la instrumentación didáctica, por tanto es necesario partir de un concepto de aprendizaje que sirva de marco referencial. Esta claridad teórica sobre aprendizaje será condición necesaria para aprovechar otros conceptos que son consustanciales a la instrumentación didáctica, tales como: objetivos, contenidos, actividades o situaciones de aprendizaje, evaluación, etc. En pocas palabras, *la concepción de aprendizaje determina el manejo que se haga de todos los componentes de una planeación o programación didáctica.*

Se entiende la *planeación didáctica* como la organización de los factores que intervienen en el proceso enseñanza – aprendizaje, a fin de facilitar en un tiempo determinado el desarrollo de las estructuras cognoscitivas, la adquisición de destrezas, habilidades y cambios de actitud en el alumno.

Desde este punto de vista, la instrumentación didáctica, se le entiende como un quehacer docente en constante replanteamiento, susceptible de

continuas modificaciones, producto de las revisiones de todo un proceso de evaluación. Esto nos lleva a considerar tres momentos básicos en los que se desarrolla y sitúan al docente en un marco de realidad:

- Un primer momento, es cuando el maestro organiza los elementos o factores que incidirán en el proceso, sin tomar en cuenta al sujeto (alumno), más allá de las características del grupo.
- Un segundo momento, es el que se detecta la situación real de los sujetos que aprenden y se comprueba el valor de la planeación como propuesta teórica, tanto en sus partes como en su totalidad.
- Un tercer momento, es el que se rehace la planeación a partir de la puesta en ejecución concreta de las acciones o interacciones previstas.

Con la visión de estos tres momentos el docente puede estar en condiciones de emprender la tarea de planeación didáctica en forma de unidades, módulos, cursos, seminarios, talleres, laboratorios, etc. pero lógicamente, esta acción será más congruente si se inserta en el contexto del plan de estudios de la Institución.

La Instrumentación Didáctica, se concibe, no solamente como la acción de planear, organizar, seleccionar, decidir y disponer todos los elementos que hacen posible la puesta en marcha del proceso enseñanza – aprendizaje, sino que entendemos el acontecer en el aula como una actividad circunstanciada, con una gama de determinaciones, tanto institucionales como sociales.

1.2.2 LA INSTRUMENTACIÓN DIDÁCTICA EN LA PERSPECTIVA DE LA DIDÁCTICA CRÍTICA

Cada Teoría Educativa tiene su propia didáctica para aplicarla en el proceso de enseñanza – aprendizaje, sin embargo aquí se presenta una

referencia de la Didáctica Crítica que más se ajusta al proceso de aprendizaje en un laboratorio en el cual se utilizan, además de conocimientos científicos, habilidades y destrezas mentales y manuales que le permitan la reflexión y crítica del alumno mediante el análisis, la creatividad y el ingenio.

Empecemos por formularnos algunas preguntas al respecto, como las siguientes.

- ¿Qué vamos a entender por Didáctica crítica?
- ¿Cómo es que ha surgido esta propuesta educativa para abordar el proceso enseñanza - aprendizaje?
- ¿Qué tan caracterizado se encuentra el discurso y la praxis de esta propuesta?
- ¿Cuál es el grado de incidencia de ella al abordar la práctica docente universitaria?

Se considera que la didáctica crítica es todavía una propuesta en construcción, que se va configurando sobre la marcha, una tendencia educativa que no tiene un grado de caracterización como es el caso de la didáctica conductista y la Tecnología Educativa.

La didáctica crítica, en contraposición a las prácticas cotidianas inmersas en el instrumentalismo y en la pretendida neutralidad ideológica necesita, con carácter urgente dos cosas:

- A) Considerar de su competencia el análisis de los fines de la educación
- B) Dejar de considerar que su tarea central es la guía, orientación, dirección o instrumentación del proceso de aprendizaje, en el que solo se involucra al docente y al alumno.

La didáctica crítica es una propuesta que no trata de cambiar una modalidad técnica por otra sino que plantea analizar críticamente la práctica docente en función del aprendizaje del alumno, la dinámica de la

institución, los roles de sus miembros y el significado ideológico que subyace en todo ello.

Tomando como referencia esta concepción de aprendizaje se tomarán en cuenta los siguientes componentes de la instrumentación didáctica

- Formulación de los objetivos de aprendizaje
- Selección y organización del contenido
- Planeación de situaciones de aprendizaje
- Problemática de la evaluación en la didáctica crítica

1.2.2.1 Formulación de los objetivos de aprendizaje

Para la formulación de los objetivos de un curso, sean estos terminales o de unidad, es indispensable plantear algunas interrogantes; por ejemplo ¿Cuáles son los grandes propósitos del curso, los conceptos fundamentales a desarrollar y los aprendizajes esenciales?. La respuesta a estos interrogantes va a permitir formular criterios para la acreditación de un curso, seminario, taller, etc.

No se debe perder de vista que una de las funciones fundamentales que cumplen los objetivos de aprendizaje es determinar la intencionalidad y / o la finalidad del acto educativo y explicar en forma clara y fundamentada los aprendizajes que se pretende promover en un curso.

Otra función muy importante de los objetivos del aprendizaje en la programación didáctica, es dar base para planear la evaluación y organizar los contenidos en expresiones que bien pueden ser unidades temáticas, bloques de información, etc.

Para la formulación de los objetivos de aprendizaje se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Expresar con claridad los aprendizajes importantes que se pretende alcanzar.
- Formular de tal forma que incorporen e integren, el objeto del conocimiento o fenómenos de la realidad que se pretende estudiar .

1.2.2.2 Selección y organización del contenido

Tradicionalmente, la selección y organización de los contenidos de asignatura que integran los planes de estudio de las carreras de enseñanza superior ha constituido una tarea casi exclusiva del profesor que cuenta con mayor experiencia, de cuerpos técnicos, o del titular de la cátedra respectiva.

Generalmente el profesor recibía el título de la materia, los temas a incluir, los puntos a subrayar. Los enfoques aplicados se ejercían conforme al principio de la libertad de cátedra. Todo intento de armonización, de búsqueda, de coherencia y organización de unificación de criterios respecto de los programas mismos y con la estructura general del plan de estudios, ha sido percibido, en muchos casos, como una amenaza al ejercicio de dicha libertad.

Si analizamos los programas de cualquier carrera aun no sometida a un cuestionamiento crítico, no sería difícil descubrir que la gran mayoría ofrece enciclopedismo, falta de funcionalidad para la propia especialidad, desequilibrio en las exigencias bibliográficas, superposición temática, falta de coordinación con pre-requisitos formalmente acordados en las reglamentaciones, escasa aplicación de lo aprendido en áreas instrumentales, planteos carentes de legitimidad científica y social, etc.

El no tomar en cuenta estas consideraciones sobre teoría curricular, como importante para efectos de una correcta formación de los educandos, constituye una riesgosa omisión. Dada la importancia del contenido, el profesor y el alumno deben participar en su determinación.

Hoy en día hay un cuestionamiento real tanto de los contenidos de las carreras como de las formas de apropiarse de ese conocimiento; incluso no es aventurado afirmar que mucho del descontento estudiantil y de la propia sociedad obedece justamente a esta falta de significatividad de conocimiento y de formación que adquieren en la escuela, colegio y universidad.

Los contenidos de planes y programas de estudio deben someterse a revisión y replanteamiento constantes, a fin de responder a las demandas de esta sociedad en constante cambio, ya que los contenidos son la columna vertebral de los planes y programas de estudio.

1.2.2.3 Planeación de situaciones de aprendizaje

Las situaciones de aprendizaje no son ajenas a lo anterior, sobre todo si consideramos que ellas son parte importante de la estrategia global para hacer operante este proceso; es decir, se supeditan a la concepción de aprendizaje que se sustente. Así por ejemplo, si el aprendizaje es considerado solamente como modificación de conducta, las actividades de aprendizaje son vistas como un elemento más de la instrumentación, pero no se analiza el papel fundamental que desempeña en la consecución del aprendizaje.

No es suficiente definir el aprendizaje como una proceso dialéctico, como algo que se construye, sino que es necesario seleccionar las experiencias idóneas para que el alumno realmente opere sobre el

conocimiento y, en consecuencia, el profesor deje de ser el mediador entre el conocimiento y el grupo, para convertirse en promotor de aprendizaje a través de una relación más cooperativa. Esto no significa desplazamiento o sustitución del profesor, y por el contrario, en esta nueva relación la responsabilidad del profesor y el alumno es extraordinariamente mayor, pues les exige entre otras cosas: investigación permanente, momentos de análisis y síntesis, de reflexión y de discusión.

Resumiendo, las actividades de aprendizaje son una conjunción de objetivos, contenidos, procedimientos, técnicas y recursos didácticos y por tanto su selección debe apegarse a ciertos criterios, tales como:

- Determinar con antelación los aprendizajes que se pretende desarrollar a través de un plan de estudios en general y de un programa en lo particular.
- Tener claridad en cuanto a la función que deberá desempeñar cada experiencia de aprendizaje.
- Incluir en ellos diversos modos de aprendizaje: lectura, redacción, observación, investigación, análisis, discusión, etc., y diferentes recursos bibliográficos, audiovisuales, modelos reales, etc.
- Incluir formas metódicas de trabajo individual alternativo con el de pequeños grupos y sesiones plenarios.
- Favorecer la transferencia de la información a diferentes tipos de situaciones que los estudiantes deberán enfrentar en la práctica profesional.
- Ser apropiadas al nivel de madurez, experiencias previas, características generales del grupo, etc.

1.2.2.4 Problemática de la evaluación en la didáctica crítica

La evaluación, no obstante su importancia y trascendencia en la toma de decisiones del acto docente, así como en las propuestas de planes y

programas de estudio, históricamente ha cumplido fundamentalmente el papel de auxiliar en la tarea administrativa de las instituciones educativas, es decir, en la certificación de conocimientos a través de la asignación de calificaciones.

Estas prácticas evaluativas merecen ser analizadas y replanteadas porque empeñan, contaminan y denigran la tarea educativa y al mismo tiempo, nos revelan la necesidad de sustituir ese concepto tan arraigado de "calificación" por una verdadera acreditación y evaluación pedagógica.

Por otro lado se ha reconocido que la evaluación es necesaria en toda acción educativa; sin embargo en general, ha existido marcada diferencia en su concepción y aplicación en los distintos niveles del sistemas educativo. Por ejemplo, para algunos autores todo puede ser evaluado, el currículo, los programas, los profesores, etc. pero jamás se dice como; para otro, es el juicio valorativo emitido por un experto; y otros identifican la evaluación con la nota o calificación en el terreno didáctico. Una idea muy generalizada es ver a la evaluación como la comprobación o verificación de los objetivos.

Una alternativa para la solución de la evaluación educativa tiene que ver con la distinción operativa entre acreditación y evaluación.

La acreditación se relaciona con la necesidad institucional de certificar los conocimientos con ciertos resultados de aprendizaje referidos a una práctica profesional, resultados que deben estar incorporados en los objetivos terminales o generales de un curso, pero que no dejan de ser cortes artificiales en el proceso de aprendizaje de una persona.

Conviene aclarar que cuando aquí se habla de evidencias de aprendizaje, éstas se refieren únicamente a los exámenes y se incluyen en ellas toda una gama de posibilidades: trabajos, ensayos,

reportes, investigaciones bibliográficas, investigación de campo, informes de laboratorio, etc.

La evaluación vista como un interjuego entre una evaluación individual y una grupal, es un proceso que permite reflexionar al participante de un curso sobre su propio proceso de aprender, a la vez que permite confrontar este proceso con aquel seguido por los demás miembros del grupo y la manera como el grupo percibió su propio proceso.

La evaluación, entonces, apunta a analizar o a estudiar el proceso de aprendizaje en su totalidad, abarcando todos los factores que intervienen en su desarrollo para favorecerlo.

1.3 TEORIA DEL CONTROL MODERNO

1.3.1 DEFINICIONES BASICAS EN TEORIA DE CONTROL

➤ **Ingeniería**

Conocimiento y control de los materiales y fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad.

➤ **Ingeniería de Sistemas**

Conocimiento y control de un sistema para dar un producto económico y útil para la sociedad.

➤ **Ingeniería de Control**

La Ingeniería de Control modela un sistema, para ello se fundamenta en:

- Teoría de la Realimentación,
- Análisis de los sistemas lineales.

E integra los conocimientos de:

- Teoría de redes, y
- Comunicación.

La ingeniería de Control trata de sistemas de control cuyos componentes son:

- Eléctricos
- Mecánicos
- Químicos

Esto implica que la Ingeniería de Control trata de temas multidisciplinarios.

La ingeniería de control no sólo trata de temas eminentemente técnicos sino que puede aplicarse a otras disciplinas como son los casos de las áreas sociales, económicas y políticas, campos en los cuales permite aumentar el conocimiento de su dinámica.

➤ **Sistema de Control**

Es la interconexión de componentes que forman una configuración del sistema que proporcionará una respuesta adecuada.

La base para el análisis de un sistema de control es la teoría de los sistemas lineales que corresponde a la relación *causa – efecto*. Desde el punto físico esto corresponde la relación:



El gráfico anterior es el *diagrama de bloques básico* de un *sistema de control*.

➤ **Variables de Control**

En el sistema de control indicado anteriormente se observa que éste consta de dos tipos de variables:

- De *entrada*, que constituye la *referencia*, o en términos técnicos de orden o mando. Esta variable es la guía que indica al sistema la respuesta que se desea obtener.
- De *salida*, que constituye la *respuesta*, es la *variable controlada*. Esta variable es la respuesta *real* del sistema.
- La diferencia entre las variables de entrada (referencia) y de salida (controlada) es el error del sistema.
- Una variable que generalmente actúa sobre el sistema es la perturbación que tiene^{de} a alterar su operación.

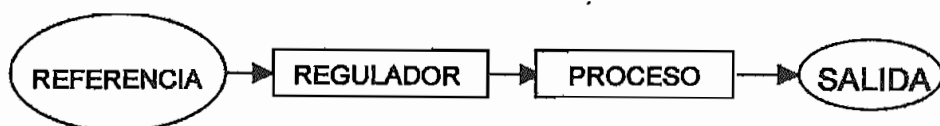
1.3.2 SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control se clasifican en circuitos o ciclos abiertos (sin realimentación) y cerrados (con retroalimentación).

1.3.2.1 SISTEMAS DE CIRCUITO ABIERTO

Son sistemas que no tienen retroalimentación, esto implica que la respuesta no influye en la entrada o referencia, la relación es lineal sólo desde la entrada hacia la salida. Estos tipos de sistemas deben ser cuidadosamente calibrados y diseñados para obtener la respuesta deseada.

Para obtener la respuesta el sistema requiere de un actuador o regulador, así:



Un ejemplo de este tipo de sistemas es el empleado en las máquinas lavadoras automáticas. En este caso existe un programa prefijado, que

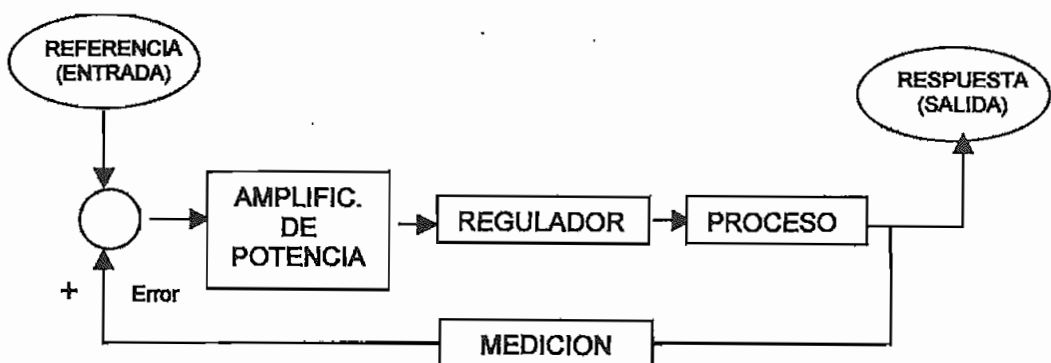
regula la secuencia de operaciones de la máquina (remojo, lavado, enjuague), durante un tiempo determinado, sin importar el grado de limpieza del producto. Como se puede apreciar no existe realimentación del resultado obtenido hacia la programación de entrada al sistema.

1.3.2.2 SISTEMAS DE CIRCUITO CERRADO

Este sistema se denomina también de *control retroalimentado*. Un circuito cerrado con retroalimentación es aquel que tiende a mantener una relación prescrita de una variable del sistema con otra, comparando funciones de estas variables y usando diferencias (errores) como medio de control.

En este sistema de control la salida tiene incidencia en la entrada mediante una medición de la señal de salida, misma que es comparada con la entrada (orden o mando) y si existe una diferencia (error) ésta envía una señal, generalmente amplificada al actuador o regulador del proceso.

Esto puede apreciarse en el siguiente diagrama de bloques:



Obsérvese que la característica más importante de un sistema de control retroalimentado es la **COMPARACION** entre las variables de entrada y de salida.

Los sistemas de control de ciclo cerrado se clasifican en reguladores y seguidores.

1.3.2.3 SISTEMAS DE CICLO CERRADO REGULADORES

Estos sistemas mantienen constante la variable controlada, a pesar de las perturbaciones que pueden actuar sobre el sistema. En este tipo de sistemas la referencia cambia con muy poca frecuencia.

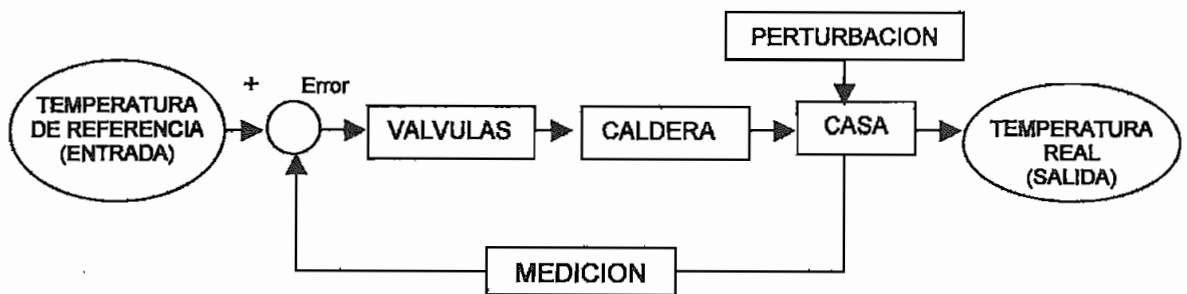
Un ejemplo es el sistema de calefacción de una vivienda. El sistema de control consta de un elemento que fija la temperatura a un valor deseado, de un detector de temperatura que mide la temperatura del medio, de un regulador que enviará la señal al sistema de calefacción.

El sistema opera de la siguiente manera: El objetivo del sistema de control es mantener la temperatura interior lo más constante posible, para ello se dispone de un termómetro, que mide la temperatura del medio ambiente la cual será comparada con aquella tomada de referencia que será calibrada en un termostato. Esto implica que la temperatura será la magnitud regulada. De acuerdo a la temperatura medida se enviará una señal hacia el sistema de calefacción, que puede ser un sistema eléctrico formado por resistencias y ventiladores o un sistema de agua caliente que se mantiene a una temperatura constante en una caldera y se lleva a los radiadores a través de un sistema de válvulas por medio de una bomba. En el caso del sistema de calefacción con agua caliente la temperatura necesaria se obtiene mezclando proporciones adecuadas de agua caliente y fría mediante la operación de una válvula mezcladora. El agua que sale a los radiadores se modifica de esta manera y servirá de regulador de la temperatura del medio ambiente en el interior de las habitaciones. La temperatura del interior puede variar por perturbaciones del medio y ello obligará al sistema a regular este parámetro. La temperatura real del medio se

compara con aquella prefijada en el termostato, si hay diferencia (error) su valor actuará sobre el sistema regulador mediante una señal de ajuste que comandará la operación de la válvula mezcladora. Este proceso se repetirá hasta que el error sea cero.

En todo caso se nota que existe una retroalimentación entre la magnitud real y la prefijada (referencia), se efectúa la comparación y de haber error el sistema de control actúa sobre el proceso hasta que la diferencia sea cercana a cero.

El diagrama de bloques que represente a este circuito de control cerrado es el siguiente:



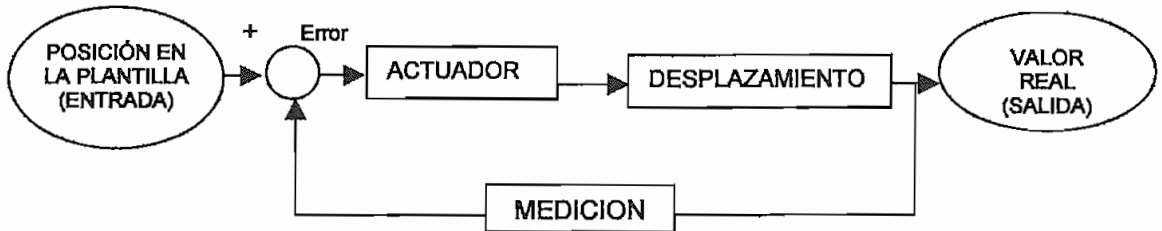
1.3.2.4 SISTEMAS DE CICLO CERRADO SEGUIDORES O DE SEGUIMIENTO

Estos sistemas se caracterizan porque mantienen la variable controlada muy próxima a la de referencia, la cual cambia continuamente.

Un ejemplo es el control del sistema trazador de un torno. En este caso una pluma sigue las direcciones dadas en el contorno de una forma determinada, y esta señal se transmite a través de una cabeza trazadora hacia la herramienta de corte que corta a la muestra a ser torneada. Para este sistema la señal de referencia (forma de la

superficie del patrón) cambia continuamente y la herramienta de corte realiza el torneado en la pieza de salida.

El diagrama de bloques de este sistema es el siguiente:



1.3.2.5 SISTEMA DE CONTROL CON MULTIPLES VARIABLES

En los ejemplos indicados anteriormente la variable controlada era una sola, sin embargo en sistemas físicos es muy común que sean muchas las variables, en esos casos habrá tantas líneas de señal como variables tenga el proceso.

En los párrafos anteriores se dibujaron los diagramas básicos de bloques y se observó que los elementos de éstos son:

- Variables de entrada, mando u orden.
- Variables de salida, respuesta o controladas
- Bloque de comparación. En este bloque se comparan las señales de salida con aquellas de entrada. De haber diferencia (error) la señal envía la señal al bloque amplificador de potencia o al actuador para que se realice el proceso.
- Bloque amplificador de potencia (cuando se lo requiera).
- Bloque actuador.
- Bloque de proceso.
- Bloque de medición, para efectuar la retroalimentación, en los sistemas de ciclo cerrado.

- Líneas de señal.

En los sistemas de ciclo abierto, no se forman lazos cerrados, y en los de ciclo cerrado se forman lazos a través del proceso de retroalimentación.

1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control debe cumplir con las siguientes características:

- Estabilidad
- Exactitud
- Velocidad de respuesta

1.3.3.1 ESTABILIDAD

Se entiende como estabilidad a la característica de un sistema de control de proporcionar una respuesta de valor útil durante un período razonable, a pesar de que cambie la referencia o de que se presenten perturbaciones. Si el sistema es inestable se presentan oscilaciones que alteran la respuesta haciendo que ésta alcance valores que llegan o sobrepasan los límites extremos, con lo cual el sistema puede colapsarse.

1.3.3.2 EXACTITUD

La exactitud de un sistema de control se refiere al rango de error dentro del cual se considera que la respuesta es satisfactoria. Obviamente que en un sistema ideal el error es cero.

En los sistemas de circuito abierto para obtener una exactitud de rango adecuado los sistemas de regulación son más sofisticados lo que

implica tanto complejidad como alto costo, por ello debe llegarse a un compromiso entre dichos parámetros.

En los sistemas de circuito cerrado es necesario que exista un error para que el sistema inicie el proceso de control, de donde se concluye que si el error tiende a cero puede existir una sobrecorrección y el sistema se torna inestable.

El análisis anterior conduce a concluir que el término exactitud es relativo y que su rango de aplicación depende del proceso a controlarse.

1.3.3.3 VELOCIDAD DE RESPUESTA

Un sistema de control adecuado debe tener una velocidad de respuesta apropiada, la cual debe estar dentro de los rangos permitidos en la operación del sistema. Por ejemplo la velocidad de respuesta debe ser tal que el tiempo requerido para que actúe el regulador debe ser menor que el tiempo entre las señales. Una velocidad de respuesta muy rápida puede ocasionar que el elemento regulador no pueda seguir efectivamente la secuencia requerida para la corrección.

1.3.4 CLASIFICACION DE LOS CONTROLES AUTOMATICOS

De acuerdo con su acción de control se puede clasificar los controles automáticos industriales en:

- Control de dos posiciones o de si / no
- Controles proporcionales
- Controles integrales
- Controles proporcionales e integrales
- Controles proporcionales y derivativos
- Controles proporcionales, derivativos e integrales.

1.3.4.1 Acción del control de dos posiciones o de sí / no

En un sistema de control de dos posiciones el elemento accionador tiene solamente dos posiciones fijas, que en muchos casos son simplemente conectados y desconectados, El control de dos posiciones es relativamente simple y económico, y por esta razón es ampliamente utilizado en un sistema de control industrial o doméstico.

Sea la señal de salida de control $m(t)$ y la salida de error actuante $e(t)$ en un control de dos posiciones, la señal $m(t)$ permanece en un valor máximo o mínimo, según que la señal de error actuante sea positiva o negativa, de modo que:

$$m(t) = M_1, \text{ para } e(t) > 0$$

$$m(t) = M_2, \text{ para } e(t) < 0$$

De donde M_1 y M_2 son constantes. Generalmente el valor mínimo de M_2 es o bien cero o $-M_1$. Los controles de dos posiciones son generalmente dispositivos eléctricos donde habitualmente hay una válvula accionada por un solenoide eléctrico o también neumáticos proporcionales a los que se denominan a veces controles neumáticos de dos posiciones.

Las figuras (a) y (b) presentan los diagramas de bloque de control de dos posiciones. El rango en el que se debe desplazar la señal de error antes de que se produzca la conmutación se llama brecha diferencial. La brecha diferencial hace que la salida de control $m(t)$ mantenga su valor hasta que la señal de error actuante haya pasado levemente del valor cero. En algunos casos, la brecha diferencial es un resultado de fricción no intencional y movimiento perdido; normalmente se lo provee deliberadamente para evitar la acción exclusivamente frecuente del mecanismo del sí – no.

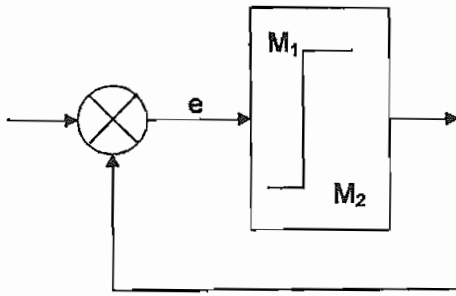


Figura (a)

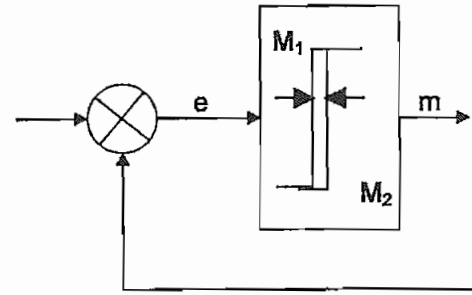


Figura (b)

1.3.4.2 Acción de control proporcional

Para un control de acciones proporcional, la relación entre la salida del controlador $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$ es:

$$m(t) = K_p e(t)$$

En magnitudes transformadas de Laplace, se tiene: $\frac{M(s)}{E(s)} = K_p$

Donde K_p se denomina sensibilidad proporcional o ganancia.

El control proporcional esencialmente es un amplificador con ganancias ajustables.

1.3.4.3 Acción de control integral

En un control con acción integral el valor de la salida del controlador $m(t)$ varía proporcionalmente a la señal de error actuante $e(t)$. Es decir:

$$m(t) = Ki \int e(t) dt$$

Donde Ki es una constante regulable. La función transferencia del

control integral es: $\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{Ki}{s}$

Si se duplica el valor de $e(t)$, el valor de $m(t)$ varía dos veces más rápido. Para un error actuante igual a cero, el valor de $m(t)$ se mantiene estacionario.

1.3.4.4 Acción de control proporcional e integral

La acción de control proporcional e integral queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt$$

La función transferencia del control es: $\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$

Donde K_p representa la sensibilidad proporcional o ganancia y T_i el tiempo integral.

Tanto K_p como T_i son regulables. El tiempo integral regula la acción de control integral, mientras una modificación en K_p afecta tanto a la parte integral como a la proporcional de la acción de control. A la inversa del tiempo integral T_i se la llama frecuencia de reposición. La frecuencia de reposición es el número de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La frecuencia de repetición se mide en términos de repetición por minuto.

1.3.4.5 Acción de control proporcional y derivativo

La acción de control proporcional y derivativa queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y la función transferencia es: $\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s)$

Donde K_p es la sensibilidad proporcional y T_d es el tiempo derivativo. Tanto K_p como T_d son regulables. En la acción de control derivativa, el valor de salida de control es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error actuante. El tiempo derivativo T_d es el intervalo de tiempo en el que la acción de velocidad se adelanta al efecto de acción proporcional.

La acción de control derivativo tiene la ventaja de ser anticipadora, pero la desventaja es que amplifica las señales de ruido y puede producir efectos de saturación en el accionador.

Hay que notar el hecho de que este control es efectivo únicamente durante períodos transitorios.

1.3.4.6 Acción de control proporcional, derivativo e integral

La combinación de los efectos de acción proporcional, acción de control derivativa y acción de control integral, se llama acción de control proporcional y derivativa e integral. Esta acción combinada tiene la ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un control con esta acción de control combinada está dada por:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt$$

La función transferencia es: $\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right)$

Donde K_p representa la sensibilidad proporcional, T_d el tiempo derivativo y T_i el tiempo integral.

CAPITULO II

DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LOS MODULOS DIDÁCTICOS, ESTRUCTURA E INSTALACIONES

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTADO FISICO Y UBICACIÓN DE LOS MODULOS DIDACTICOS

Para realizar el presente proyecto se parte de la disponibilidad física de un laboratorio de Control de Procesos que consta de cuatro Módulos o Estaciones de trabajo, adicionalmente se dispone de un banco de calibración y pruebas para equipo móvil.

Los módulos para control de procesos están diseñados para la capacitación en mediciones, control de procesos industriales y diagnóstico de problemas. Los equipos de experimentación pueden funcionar en forma independiente o ser usados en diferentes configuraciones para simular procesos aún más complejos.

Las estaciones de flujo, nivel, intercambio de calor (control de temperatura) y analítica (banco de pruebas) utilizan agua como medio para el proceso, mientras que las de presión y temperatura están basadas en aire.

Todos los instrumentos en los sistemas móviles son conmutables lo cual permite esquemas de control alternativos y la adaptación de nuevas tecnologías.

Los módulos didácticos permiten que el estudiante adquiera los conocimientos fundamentales del proceso, calibración de sensores y transmisores, así como la operación de controladores basados en microprocesador.

El control se lo realiza en lazo cerrado y existe un diagnóstico de fallas que ayudan a una completa formación del estudiante.

A continuación se muestra un listado de los elementos constitutivos de cada módulo didáctico.

2.1.1 Módulo de control de presión

- Microcontrolador Foxboro 761
- Válvula de control
- Transductor de corriente a presión
- Válvula de orificio ajustable
- Manómetro
- Registrador gráfico en banda de papel
- Tanque 1
- Tanque 2
- Autorregulador de presión posterior con toma interior y accionamiento manual
- Transmisor de presión
- Resistencia de carga
- Válvulas de globo y accionamiento manual

2.1.2 Módulo de control de flujo

- Microcontrolador Foxboro 761
- Transmisor diferencial de presión electrónico
- Calibrador electrónico
- Medidor de flujo de área variable
- Ensamblaje de tubo Venturi
- Registrador gráfico en banda de papel
- Depósito de agua
- Calibrador neumático
- Válvulas de globo y accionamiento manual

2.1.3 Módulo de control de nivel

- Microcontrolador Foxboro 761
- Válvula de control
- Transductor de corriente a presión
- Rotámetro indicador
- Manómetro
- Registrador gráfico en banda de papel
- Columna de nivel
- Tanque de almacenamiento
- Bomba
- Transmisor de presión diferencial
- Resistencia de carga
- Válvulas de globo y accionamiento manual

2.1.4 Módulo de control de temperatura

- Microcontrolador Foxboro 761
- Horno
- Relé
- Transmisor Termocupla TT
- Detector de temperatura RTD
- Registrador gráfico en banda de papel
- Termocupla Tipo J
- Termómetro

2.1.5 Banco de pruebas y equipo portátil

- Calibrador electrónico
- Multímetro digital

2.2 ESTADO EN QUE SE ENCUENTRAN LOS EQUIPOS

En general los elementos antes mencionados se encuentran en buen estado, sin embargo es necesario realizar mantenimiento a efectos de reparar algunos de ellos y otros es necesaria su reposición.

Es importante indicar que los elementos que necesitan alguna reparación o reposición no son de mucha importancia, por ejemplo: mangueras de plástico, terminales de conexión, cables de corriente eléctrica.

2.3 ESTRUCTURA E INSTALACIONES

El laboratorio de Procesos Industriales está ubicado en un ambiente de aproximadamente 66 m² de superficie con una construcción de hormigón armado el cual tiene las siguientes instalaciones:

- Eléctricas de fuerza con tablero de distribución trifásico de 220 v AC, con neutro y tierra. Cada módulo tiene protección térmica individual.
- Aire comprimido generado por un compresor de 20 psi.
- Agua potable con tubería de ½" de diámetro.

En cuanto a las instalaciones eléctricas de alumbrado están sin funcionar tres lámparas fluorescentes, por lo que se necesita realizar una limpieza y recambio de los tubos de 40 w.

Las instalaciones de aire existen pero al momento no se encuentra conectado el compresor que genera el aire comprimido para los módulos.

Las instalaciones de agua si existen y están funcionando.

2.4 DESCRIPCION DEL SISTEMA

Todos los módulos tienen un mismo sistema de control, accionado a través de un microcontrolador que permite realizar estrategias de control en operaciones más difíciles. Adicionalmente los sistemas de presentación y registro de datos (registrador de papel y alarmas) son también comunes para todos los módulos. A continuación se describe los modos de operación, ajuste, calibración y aplicaciones de estos elementos comunes.

2.4.1 MICROCONTROLADOR

El microcontrolador de la serie Foxboro 761 tienen una capacidad incorporada para realizar estrategias de control altamente avanzadas en diversas operaciones. Añade también compensación dinámica, mandos de comunicación en serie ulteriores, disposición para marcar puntos por contacto / pulso y extensa capacidad de lógica Booleana. Es un controlador autónomo, capaz de controlar en cascada, basado en un microprocesador con las funciones proporcional, integral y derivativa (PID) estándar. Ellas pueden configurarse para sintonización exacta con el propósito de monitorear continuamente las funciones PID y ajustarlas automáticamente cuando se requiera. Este dispositivo vigila y controla un proceso mediante un algoritmo configurado.

El microcontrolador consta de un grupo de periféricos que le permiten comunicarse con el proceso estos son:

- Puerto de comunicaciones
- Indicadores de alarma
- Entradas Analógicas
- Salidas Analógicas
- Entradas digitales
- Salidas digitales
- Microprocesador

Tiene una presentación continua de barras del punto de reglaje, medición y salida, así como una presentación alfanumérica de hasta dos variables seleccionadas. Además los valores y el estado de parámetros de control seleccionados están disponibles fácilmente para el operador.

Todas las manipulaciones se hacen delante del dispositivo de control que se encuentra ubicado en el panel del módulo.

2.4.1.1 MODOS DE OPERACIÓN

El dispositivo de control opera en uno de estos tres modos: NORMAL, READ, SET. En la operación NORMAL el dispositivo de control realiza las funciones usuales de control. En el modo Leer (READ) el dispositivo de control puede leer el valor o el estado de los parámetros de control. En el modo Fijar (SET) el operador puede cambiar los parámetro que son ajustables según la configuración del Dispositivo de control.

Independiente del modo de operación el dispositivo de control vigila y controla continuamente el proceso (salvo durante SET CONFIguration, CALIBration o TEST, Prueba).

2.4.1.2 AJUSTES Y CONTROLES DEL OPERADOR

El panel frontal tiene todos los ajustes y controles del operador: una presentación alfanumérica, otra gráfica y el teclado. (Fig. 2.1)

Presentación Alfanumérica: La presentación alfanumérica consta de dos líneas de nueve caracteres. *En operación normal*, la línea superior presenta una fila de 9 caracteres ASCII (usada a menudo para identificación de bucle, "loop") y una variable en notación de ingeniería con etiqueta de unidades, esto independiente de la presentación de variables seleccionadas en la otra línea, la inferior. La línea inferior

presenta, sea el valor de uno de los gráficos de barras, o la identificación de una señal de alarma.

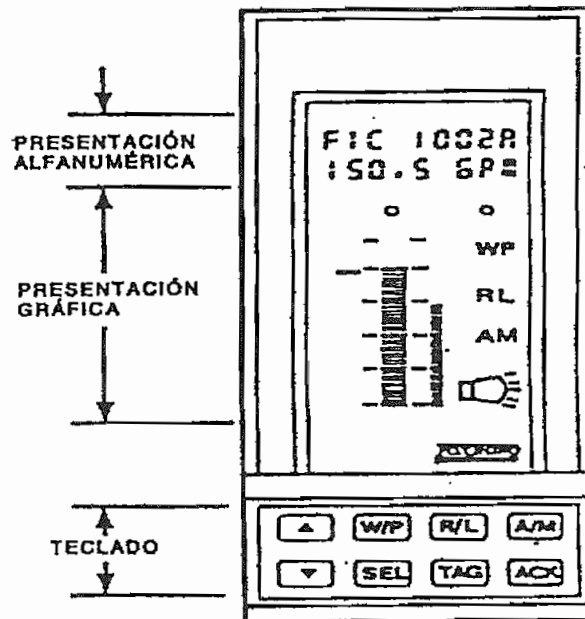


Figura 2.1 Controles e indicadores del operador

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
GRAFICOS DE BARRAS	Indican, de izquierda a derecha, el punto de reglaje, medición y salida. Siempre visibles, salvo durante la configuración, calibración o test del dispositivo de control.
PUNTO DE IDENTIFICACIÓN DEL GRAFICO DE BARRAS	Indica el gráfico de barras cuyo valor numérico se presenta en la línea inferior de la presentación alfanumérica.
INDICADORES DE LIMITES	Se enciende si la barra correspondiente es menor que 0% o mayor que 100%. Guíña si es menor -2% o mayor que 102%
INDICADOR DE ALARMA	Advierte al operador de una condición de alarma.
INDICADORES DE ESTADO	Dan el estado de las funciones W/P, R/L y A/M. Ambas R y L se encienden cuando se presenta el tablero secundario (regular en cascada, guiñando en desvío cascada "BYPASS"). W guíña cuando se interrumpe la comunicación serial.
INDICADOR DE FALLA EN EL DISPOSITIVO DE CONTROL	Guíña si el dispositivo de control funciona mal.

En los modos READ y SET la línea superior en general, presenta una categoría de parámetro de control; y la línea inferior da un detalle específico sobre esta categoría.

Presentación Gráfica: La presentación gráfica consta de tres gráficos de barras, un indicador de alarma, tres indicadores de estado y un indicador de avería del Dispositivo de control. (Fig. 2.2)

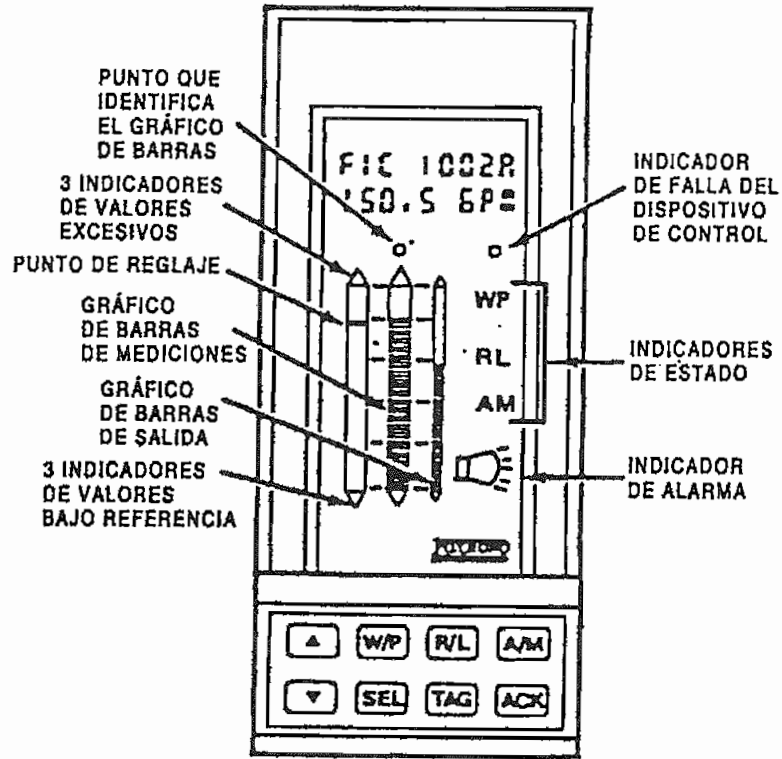


Figura 2.2: Presentación de gráficos

Teclado: Consta de ocho teclas. Tres son teclas de estado de funciones fijas y las otras cinco son teclas de comunicaciones multifuncionales. (Fig. 2.3)

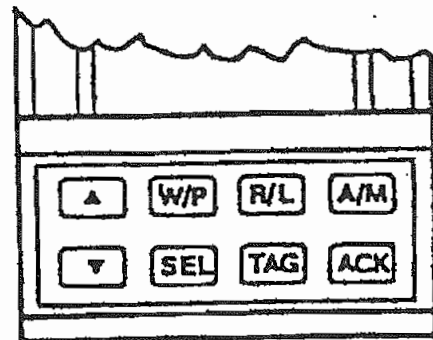


Figura 2.3 Teclado

2.4.1.3 OPERACIÓN EN MODO NORMAL

En operación en modo normal, el operador puede:

- Leer valores en los tres gráficos de barras.
- Reconocer una condición de alarma.
- Cambiar las presentaciones del dispositivo de control primario al dispositivo de control secundario si esta configurado CASCADE.
- Cambiar el estado de control de Terminal / Panel (W/P), Remote / Local (R/L) y Auto / Manual (A/M) dependiendo de la configuración.
- Cambiar punto de reglaje o razón (en Manual o Auto), o cambiar salida (en Manual).

Los gráficos de barras graduadas en porcentaje muestran los valores del punto de reglaje, medición y salida. El valor numérico de cada grafico de barras puede verse representado pulsando sucesivamente la tecla SEL. Cada vez que se pulsa la tecla, el punto identificador luminoso arriba del grafico de barras pasa al grafico adyacente y el valor numérico de ese grafico de barras aparece en la línea inferior de la presentación alfanumérica.

2.4.1.4 RECONOCIMIENTO DE ALARMAS

Si ocurre una condición de alarma de cerrojo el indicador de alarma en el frente del Dispositivo de control va a titilar hasta que el operador pulse la tecla ACK al reconocer el caso. En ese momento el indicador se apaga si la condición de alarma ceso o pasa a alarma regular si la condición persiste.

Si ocurre una condición de alarma sin cerrojo el indicador de alarma en el frente del Dispositivo de control va a titilar hasta que el operador se de cuenta y pulse la tecla ACK o hasta que la condición de alarma

termine. En el primer caso (ACK) el indicador deja de titilar y pasa a regular. En el otro caso se apaga.

Cuando se reconoce (ACK) una alarma la condición que causa la alarma se muestra por un mensaje intermitente en la línea inferior de la presentación alfanumérica. El mensaje continua mientras persista la condición de alarma o hasta que se pulse de nuevo ACK. Con este segundo toque de ACK el mensaje desaparecerá y será presentado el valor del gráfico de barras previamente seleccionado

Si existe más de una condición de alarma cada una de ellas podrá ser identificada a su vez, mediante toques adicionales de ACK. Después de haber identificado todas las condiciones de alarma, va a ser presentado el valor del gráfico de barras previamente seleccionado. No obstante, el indicador de alarma va a seguir encendido y las identificaciones de las condiciones de alarma pueden ser presentadas de nuevo mediante toques sucesivos de ACK.

2.4.1.5 PRESENTACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ALARMA

Si el dispositivo de control esta configurado así, los parámetros de la alarma y la magnitud de la alarma se presentan en el Grafico de barras. (Fig. 2.4).

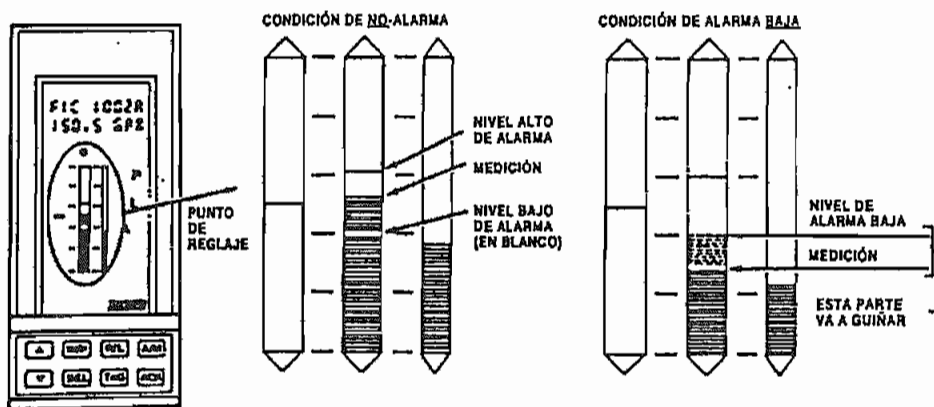


Figura 2.3: Presentación de alarmas en el gráfico de barras

1. Los niveles de alarma aparecen en el grafico de barras de mediciones y / o salida por la omisión (o la presencia) de un segmento luminoso en las posiciones correspondientes a los niveles de alarma (en escala de %)
2. Pueden presentarse las condiciones de alarma de Medición primaria, Salida primaria, Medición secundaria y Salida secundaria. Cada una de ellas puede ser presentada para una de las cuatro alarmas posibles.
3. Si existe una condición de alarma, y la señal de alarma excede sus límites prefijados en por lo menos 2% (sea el nivel alto o bajo) las líneas del grafico de barras que corresponden al valor excesivo van a guiñar.

2.4.1.6 APLICACIONES DEL MICROCONTROLADOR FOXBORO 761

Control Proporcional: La función de un controlador proporcional es mantener el proceso dentro de una banda específica de puntos de control. Este proporciona una relación lineal entre la entrada y la salida. El control proporcional puede aplicarse a todo tipo de variable como nivel, temperatura, flujo presión, etc.

Concretamente para el control proporcional se analiza el efecto en la respuesta al variar la banda proporcional (PF), así como la influencia de la misma sobre el error de offset y la estabilidad.

Control Proporcional – Integral: El microcontrolador Foxboro 761 puede configurarse para realizar una acción de control compuesta. Este microcontrolador hace que el error residual del control proporcional sea igual a cero y que se disminuyan las oscilaciones.

Cualquiera que sea la aplicación que se realice en los módulos, se analiza el efecto sobre el sistema de banda proporcional y del tiempo integral de los controladores involucrados, así como la respuesta del sistema para variaciones en la carga del proceso.

Control Proporcional - Integral y Derivativo: Con el control PID, se puede conseguir una correspondencia 1 a 1. Se elimina el error residual, hay una anticipación al error e introduce estabilidad. Para conseguir lo anterior, el microcontrolador debe estar adecuadamente calibrado y sintonizado. Con esto se consigue precisión, velocidad y es aplicable a todo proceso de control, sin embargo el costo es alto.

Modo de Control EXACT: El ajuste EXACT (Expert Adaptive Controller Tuning) ofrece un medio para restaurar el equilibrio cuando ocurre una perturbación en un proceso. Esa acción se implementa más rápido y con más precisión que manualmente.

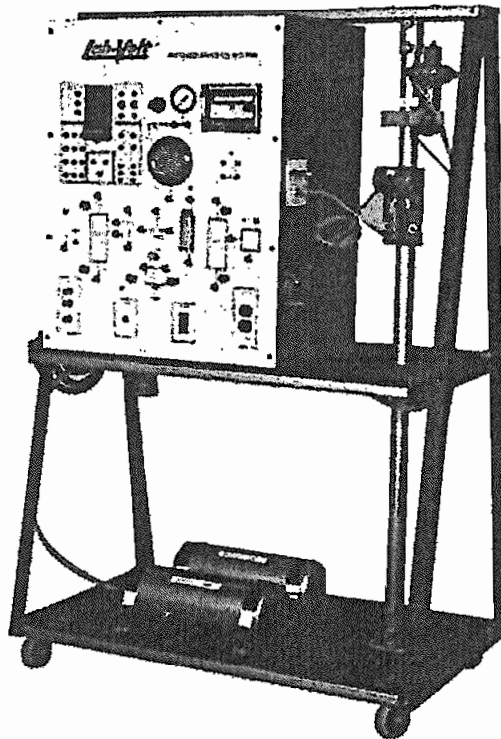
Además, si las características de control de un proceso no son conocidas, EXACT tiene la función de pre-ajuste que puede calcular valores iniciales de seis parámetros clave e ingresar automáticamente esos valores en la memoria del dispositivo de control.

2.4.2 EL REGISTRADOR DE PAPEL

Es un instrumento de medición que registra con trazo continuo sobre papel milimetrado la variable medida; es un instrumento de grafico rectangular, los cuales suelen tener por lo general una velocidad promedio de 20mm/h.

Sus partes constitutivas las siguientes son: Medidor de aguja y registrador gráfico.

2.4.4.1 MODULO DE CONTROL DE PRESION



El módulo de control de presión, modelo 3501, consiste de dos tanques para aire comprimido, cada uno con una capacidad de 7.5 litros (2 galones), los cuales pueden ser conectados individualmente, en serie o en paralelo. Para uso individual, cada tanque, permite un proceso de capacidad con un volumen individual y un mínimo retraso. Conectado en paralelo, los tanques permiten un proceso de capacidad con volumen dual. Conectado en serie, los tanques muestran un proceso de capacidad dual, los dos con un retraso interactuado, (al mismo tiempo)

Detalles

La carga de proceso consiste en un ensamblaje del extractor conectado con un silenciador. La aguja válvula en el tanque de conexión y el extractor en el ensamblaje permiten introducir, exigir y proveer disturbio y permiten la variación de grados de restricción a toda la configuración, de tal modo que proveen una variedad de tasas de procesos y respuestas. Un convertidor I/P, transmisor eléctrico de presión, y una válvula del diagrama de actuado, tienen toda provisión y líneas de señal terminadas en una guarnición en el panel principal de control. En el panel principal están, el microprocesador regulador, registrador de papel, calibrador de presión, flujómetro, orificio de ensamblaje, y dos lámparas de alarma.

En la tabla 2.1 se muestran los elementos componentes del módulo de control de presión.

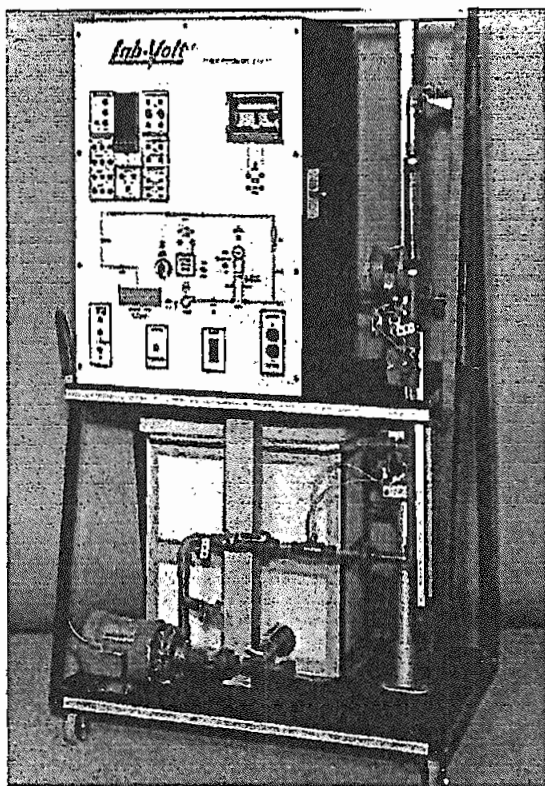
SÍMBOLO	DENOMINACIÓN	ESPECIFICACIONES
	Microcontrolador Foxboro	761
CV-1	Válvula de control	
IP	transductor de corriente a presión	4-20mA/3-15PSI
ORIFICE	Válvula de orificio ajustable	d D= 0.5
PI-1	Manómetro	
PI-2	Manómetro	
LR	Registrador gráfico en banda de papel	0 – 700 Kpa
PROCESS TANK 1	tanque 1	7.5 lt
PROCESS TANK 2	tanque 2	7.5 lt
PRR 1	Autorregulador de presión posterior con toma interior y accionamiento manual	100PSI
PT	Transmisor de presión	24Vdc/0-100PSI
RL	Resistencia de carga	250 ohmios
V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7	Válvulas de globo y accionamiento manual	

Tabla 2.1

Con este módulo se pueden analizar los siguientes aspectos:

- Característica del tiempo de respuesta de un Transmisor de presión.
- Característica del proceso de presión.
- Operación básica de un Controlador basado en un Microprocesador.
- Programación básica de un controlador basado en Microprocesador.
- Control proporcional de un proceso de presión.
- Control proporcional e integral de un proceso de presión.
- Control proporcional, integral y derivativo en un proceso de presión.

2.4.4.2 MODULO DE CONTROL DE FLUJO



El módulo de proceso de flujo, modelo 3502, tiene tubos claros de PVC en serie con dos fuertes ensamblajes en la cabecera, un medidor de flujo, y un depósito de agua de 20 galones de capacidad, la cabecera tiene una dimensión de 30 cm y puede recibir los ensamblajes opcionales, permutables para la medida del punto bajo, incluyendo las placas del orificio, los inyectores, los tubos experimentales, los flujómetros de la turbina y otros instrumentos de medición de flujo o transmisores.

La cabecera permite la medida de la presión diferencial a través de los ensamblajes específicos, tales como una serie de codos de 90 grados o recipientes de ampliación. En el panel de control principal están el registrador de cada microprocesador y el regulador de todas las conexiones terminales.

Detalles

El acoplador permite que la estación del proceso de flujo esté directamente emparejado con la estación del proceso de nivel, de tal modo que permite un control de flujo usando la válvula de diagrama como un elemento de control, o el control del nivel usando la bomba conductora de frecuencia variable. Acoplando las dos estaciones, también permite a los dos transmisores diferenciales configurar un control interactivo más avanzado,

tales como los que se encuentran en el control de cascada. Se incluye en el módulo una cabecera ensamblada de 30 cm.

En la tabla 2.2 se muestran los elementos componentes del módulo de control de flujo.

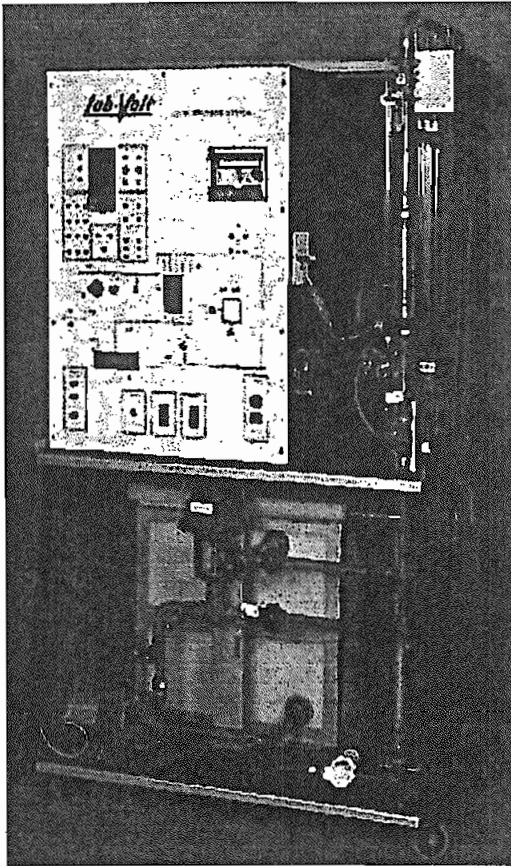
SÍMBOLO	DENOMINACIÓN	ESPECIFICACIONES
	Microcontrolador Foxboro	761
CV-1	Válvula de control	
IP	Transductor de corriente a presión	4-20mA/3-15PSI
ORIFICE	Válvula de orificio ajustable	d D= 0.5
PI-1	Medidor de flujo	
LR	Registrador gráfico en banda de papel	0 – 700 Kpa
PROCESS TANK	Depósito de agua	20 galones
PRR 1	Autorregulador de presión posterior con toma interior y accionamiento manual	100PSI
PT	Transmisor de presión	24Vdc/0-100PSI
RL	Resistencia de carga	250 ohmios
V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7	Válvulas de globo y accionamiento manual	

Tabla 2.2

Con este módulo se pueden analizar los siguientes aspectos:

- Característica del tiempo de respuesta de un Transmisor de flujo.
- Característica del proceso de flujo.
- Operación básica de un Controlador basado en un Microprocesador.
- Programación básica de un controlador basado en Microprocesador.
- Control proporcional de un proceso de flujo.
- Control proporcional e integral de un proceso de flujo.
- Control proporcional, integral y derivativo en un proceso de flujo.

2.4.4.3 MODULO DE CONTROL DE NIVEL



El módulo de proceso de nivel consta fundamentalmente de un cilindro de 8 pulgadas de diámetro con un diagrama de una válvula de control, un tubo transmisor diferencial y un convertidor a un lado de la cabina terminado en la guarnición del panel de control principal, además en el panel de control esta montado un microprocesador, un registrador de papel, y dos lámparas de alarma, una válvula de aguja - regulador que controla el flujo de aire a un tubo de medida de nivel. Además en la base de la columna del nivel están dos válvulas que permiten la conexión de la célula de D/P. Manómetros opcionales, indicadores de presión baja y columna de alimentación húmeda.

Detalles

El acoplador permite que el módulo del proceso de flujo esté directamente emparejado con la estación del proceso de nivel, de tal modo que cree un control de flujo usando la válvula del diagrama de control como un elemento de control, o el control del nivel usando la bomba conductora de frecuencia variable. Acoplando las dos estaciones se pueden utilizar los dos transmisores diferenciales necesarios para configurar un control interactivo más avanzado, tales como los de control en cascada.

En la tabla 2.3 se muestran los elementos componentes del módulo de control de presión.

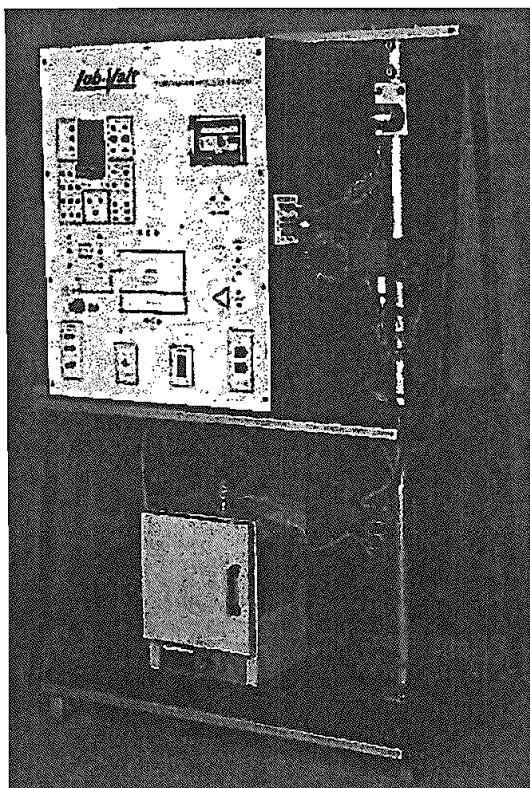
SÍMBOLO	DENOMINACIÓN	ESPECIFICACIONES
CV-1	Válvula de control	3-5PSI
D/P	Transmisor de presión diferencial	
F-1	Rotámetro Indicador	24Vdc
I/P	transductor de corriente a presión	4-20mA/3-15PSI
PR	Registrador grafico en banda de papel	
LEVEL COLUMN	Columna de nivel	7.5 lt
HOLDING TANK	Tanque de almacenamiento	75 lt
PRR -1	Autorregulador de presión posterior con toma interior y accionamiento manual	100PSI
PUMP	Bomba	
RL	Resistencia de carga	250 ohmios
V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8 ,V9, V10, V11	Válvula de globo y accionamiento manual	0-3PSI

Tabla 2.3

Con este módulo se pueden analizar los siguientes aspectos:

- Característica del tiempo de respuesta de un Transmisor de nivel.
- Característica del proceso de nivel.
- Operación básica de un Controlador basado en un Microprocesador.
- Programación básica de un controlador basado en Microprocesador.
- Control proporcional de un proceso de nivel.
- Control proporcional e integral de un proceso de nivel.
- Control proporcional, integral y derivativo en un proceso de nivel.
- Sintonización de Punto para un proceso de nivel.
- Localización de fallas en el canal de medición de nivel.
- Diagnóstico de fallas en un proceso de control de nivel.

2.4.4.4 MODULO DE CONTROL DE TEMPERATURA



El módulo de control proceso de temperatura consiste de un horno de 20 a 200 grados Celsius (70 – 400 grados fahrenheit). En operación manual es utilizado como un proceso de encendido – apagado mediante el uso de un relé de 24 V d.c. o proporcionalmente controlado por un programa piloto con una entrada de 4 – 20 mA. El horno es modificado con un inyector de aire fresco y apagador ajustable para los disturbios de carga y proceso.

Detalles

La unidad consta de un tubo montado, de encendido - apagado con un controlador de temperatura con dos terminales de contacto, tipo banana, que terminan en el panel de control principal y un interruptor o palanca que cambia el control desde el conductor hasta un relé NC de 24 V d.c. para un control de apagado. Además se tiene un tubo térmico y un transmisor de temperatura, con un Termocupla tipo “J” y un transmisor de corriente RTD, de 100 ohmios de platino (RTD), con todas las conexiones de la fuente ubicadas en el panel de control principal. En el panel de control también están el regulador por microprocesador, el registrador de papel, dos lámparas de alarma y un regulador de aire.

Con este módulo se pueden analizar los siguientes aspectos:

- Característica del tiempo de respuesta de un Transmisor de temperatura.
- Característica de la temperatura de proceso.
- Operación básica de un Controlador basado en un Microprocesador.
- Programación básica de un controlador basado en Microprocesador.
- Control proporcional de un proceso de temperatura.
- Control proporcional e integral de un proceso de temperatura.
- Control proporcional, integral y derivativo en un proceso de temperatura.
- Localización de fallas en el canal de medición de temperatura

2.4.4.5 COMPUTADOR

Los módulos didácticos de control de procesos industriales tienen la capacidad de aceptar instrucciones de monitoreo y control de procesos mediante un software técnico desde un computador conectado directamente a través de una interfase. Las características del computador son:

- CPU: Procesador 486 de 100 MHz
- HD: 520 MB
- RAM: 8 MB
- MONITOR: VGA .28 de 14" (800x600)
- DRIVEDISK: 1.44 MB
- SOFTWARE: SYSTEM V 2.0. AIMAX PLUS, DATABASE

CAPÍTULO III

MODELO DIDÁCTICO DE APRENDIZAJE

3.1 INTRODUCCIÓN

El modelo didáctico o sistema de aprendizaje a través de módulos de control de procesos comienza con una introducción a las características básicas de las principales variables del proceso y luego continúa hasta el estudio de los fundamentos del proceso, calibración de los dispositivos sensibles, los transmisores y la operación de los controladores basados en un microprocesador. El control de los procesos industriales de lazo cerrado y la realización de las prácticas son una parte integral de este programa de capacitación. El simulador y el programa informático de capacitación por computadora proporcionan flexibilidad cuando se trata de añadir algo a los programas existentes o de actualizarlos.

Para que los técnicos e ingenieros elijan el mejor sistema de control de flujo de agua para un trabajo, o solucionen problemas con las complejas mezclas de transmisores, válvulas y controladores para el control óptimo del flujo en un determinado proceso industrial, deben tener los conocimientos apropiados sobre los principios del proceso de flujos.

Las complejas relaciones entre la afluencia y efusión de líquidos, sus niveles y velocidades se consideraron cuando se determinó el tamaño y el lugar del drenaje. Aún más complejos resultan los procesos industriales en los cuales los niveles de los líquidos deben ser rigurosamente controlados para garantizar que los parámetros del proceso estén dentro de lo fijado.

Controlar la temperatura en un ambiente determinado puede parecer algo muy simple de hacer, pero en los procesos industriales que exigen temperaturas precisas para controlar líquidos y gases u otros materiales

físicos que deben ser combinados para fabricar papel, medicamentos, productos químicos, etc., puede ser todo un desafío.

Los módulos didácticos que permiten la capacitación en los procesos de control de presión, flujo, nivel y temperatura permiten la planificación e implementación de programas de capacitación que proporcionen los conocimientos sobre los principios involucrados a los procesos en los que intervienen las cuatro variables mencionadas. El sistema abarca temas que tratan específicamente con las propiedades y las respuestas del control de los componentes y equipos empleados en el control de las diferentes variables. Las actividades prácticas permitirán que los alumnos adquieran experiencia con dispositivos típicos de control y que experimenten en forma segura su funcionamiento, calibración y sintonización tanto de los equipos como del proceso. El software correlativo les permitirá adquirir conocimientos valiosos sobre los conceptos del proceso correspondiente a cada variable así como experiencia con los aspectos operativos de su control.

3.2 ESTRUCTURA DEL MODELO FISICO

Para que el proceso de aprendizaje tenga su efecto en la adquisición de conocimientos por parte de los educandos, es necesario que el laboratorio con todos sus componentes estén a punto, es decir, los módulos y sus elementos, los equipos móviles, el banco de pruebas, los muebles y encerres, los equipos de ayudas didácticas, tales como: computador, Internet, impresora, proyector, pantalla para proyectar, pizarrón, etc., funcionen correctamente.

Sobre la base de lo que existe, a continuación se detallan los requerimientos para el Laboratorio de Control de Procesos Industriales, sus componentes y las instalaciones necesarias que permitan cumplir con eficiencia y eficacia los objetivos propuestos.

3.2.1 ESTRUCTURA FÍSICA E INSTALACIONES

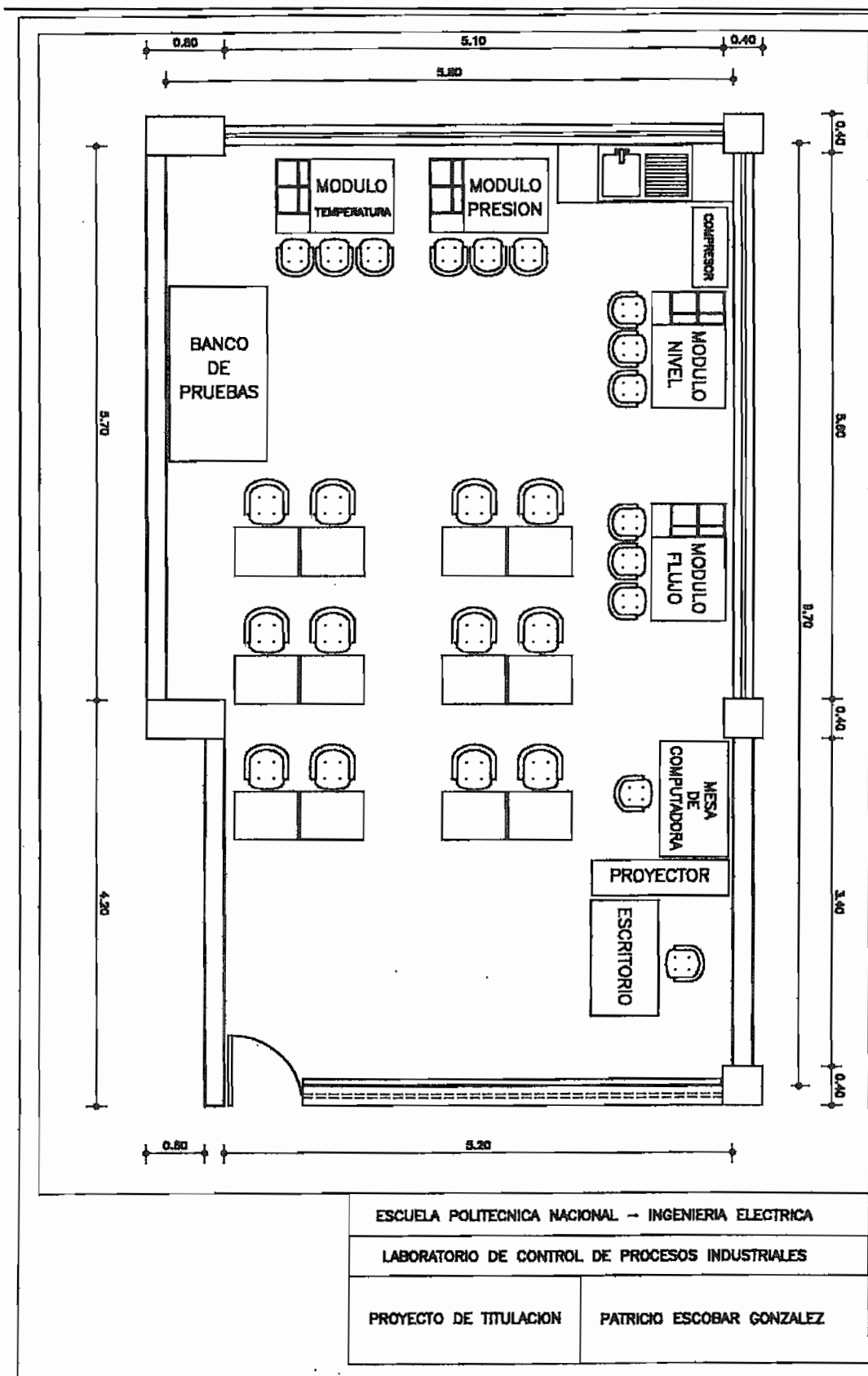
En el siguiente cuadro se muestra el detalle de la estructura física y las instalaciones requeridas para el laboratorio de Control de Procesos Industriales

Área de construcción	66 m ²
Cimentación	Hormigón armado
Estructura	Hormigón armado
Piso	Hormigón simple
Paredes	Ladrillo enlucido
Cubierta	Losa
Puerta	Madera con protección de hierro
Ventanas	Perfil de hierro con vidrio oscuro
Instalaciones eléctricas, de agua, sanitarias, de aire y accesorios	Empotradas, con elementos de buena calidad

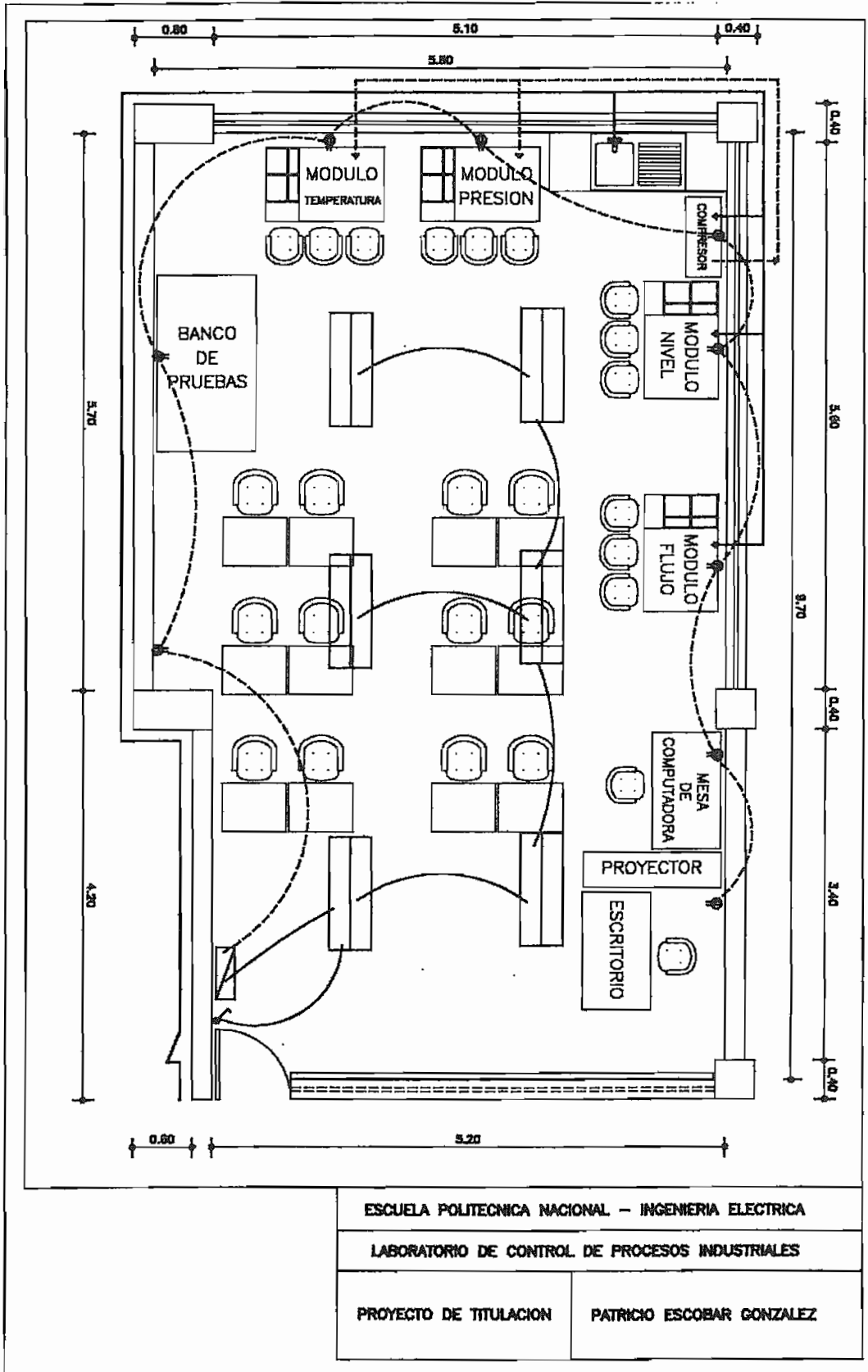
En las páginas 51 y 52 se muestran los planos arquitectónicos y de instalaciones para el Laboratorio de Control de Procesos propuesto.

3.2.2 EQUIPOS, MUEBLES Y HERRAMIENTAS

CANT	EQUIPO, MUEBLES Y HERRAMIENTAS	OBSERV.
4	MODULOS DIDÁCTICOS DE CONTROL DE PROCESOS (Presión, Flujo, Nivel y Temperatura)	Equipados con elementos de control.
1	BANCO DE PRUEAS	Con equipo portátil
12	MESAS INDIVIDUALES CON SILLA	Metálicas
1	ESCRITORIO	Metálico
1	MESA PARA COMPUTADORA	Con accesorios
1	MESA PARA PROYECTOR Y TV.	Con accesorios
1	PIZARRON PARA TIZA LIQUIDA	



Plano de planta. Laboratorio de Control de Procesos Industriales



Plano de instalaciones. Laboratorio de Control de Procesos Industriales

3.3 ESTRUCTURA DEL MODELO DIDÁCTICO

Las teorías de aprendizaje que más se ajustan al propósito del presente proyecto, son aquellas que tienen un enfoque cognitivo, tales como: el constructivismo y el conexionismo, cuya característica común y fundamental es el ser eminentemente activas.

Cabe recordar que una de las premisas del constructivismo, según Kilpatrick, afirma: *"El conocimiento es activamente construido por el sujeto cognoscente, no pasivamente recibido del entorno"*; que la filosofía del conexionismo, de Edelman, se basa en los procesos neuronales de la mente en donde existe el conocimiento y que se lo construye mediante la experiencia; que de acuerdo a la teoría de Vigotsky, "Zona de desarrollo próximo", el alumno en forma individual tiene la capacidad de aprender una serie de conocimientos por si mismo así como otros que están fuera de su alcance con ayuda externa.

Tomando en cuenta las premisas anteriores y las características que sustentan al constructivismo, así como los elementos que constituyen la Instrumentación Didáctica, es decir:

- Formulación de objetivos de aprendizaje
- Selección y organización de contenidos
- Planeación de actividades de aprendizaje independientemente de la teoría de referencia, y
- Evaluación de los aprendizajes

el esquema metodológico fundamental que se propone en el presente trabajo para el aprendizaje y capacitación específico en los procesos de control industrial, mediante el uso de módulos didácticos en el laboratorio, se describe a continuación:

3.3.1 TEMA DE ESTUDIO

Cada uno de los módulos de trabajo permiten planificar prácticas de laboratorio, dependiendo de la variable a controlar. En el capítulo II, se realizó una descripción de las características de cada módulo y de sus elementos constitutivos, y además se mencionó la temática general de estudio que abordan cada estación de trabajo, así, entonces cada práctica de laboratorio establece primero el tema de estudio o análisis que se realizará. Este puede referirse a: calibración, sintonización, operación, localización de fallas, tanto en los elementos como en el proceso de control.

3.3.2 OBJETIVOS DE ESTUDIO

El propósito fundamental de un sistema de aprendizaje es lograr que el estudiante experimente un cambio cognitivo en su mente, mediante la construcción del conocimiento; y para llegar a éste propósito es necesario establecer metas concretas mediante la declaración de objetivos terminales y específicos. Para ello el alumno deberá tener claros los conceptos teóricos sobre el tema de estudio a fin de que se facilite la aplicación de los mismos en la práctica.

Los objetivos deben ser declarados mediante la utilización de verbos en infinitivo que determinen la acción a realizar.

3.3.3 TRABAJO PREPARATORIO

Consiste en la preparación previa del objeto de estudio, mediante la revisión teórica sobre del tema a tratar, el mismo que debe realizar el alumno antes de ingresar al laboratorio. Este prerrequisito lo puede realizar mediante consultas bibliográficas, manuales o en las clases impartidas por los catedráticos.

Antes de la realización de la práctica, el alumno debe informarse sobre los tópicos o subtemas de estudios que se mencionan en las correspondientes hojas guías de cada ejercicio que se realizará en la práctica del laboratorio.

3.3.4 INFORMACION TEORICA

Consiste en un resumen teórico, que contienen las hojas guías, sobre los temas y subtemas de análisis. Aquí se detallan los modelos matemáticos, ecuaciones, gráficas standard, etc., que permite refrescar los conceptos necesarios para empezar la realización de la práctica.

Para cumplir adecuada y satisfactoriamente este paso del proceso, el estudiante puede hacer consultas en el mismo laboratorio

3.3.5 EQUIPO REQUERIDO

Aquí se detalla el equipo, materiales y herramientas que serán utilizadas para la realización de la práctica correspondiente. Es importante hacer notar que los equipos necesarios deberán estar en condiciones óptimas de funcionamiento. Si no es así, primero se debe poner a punto cada uno de los elementos a utilizar, mediante limpieza y calibración.

3.3.6 PROCEDIMIENTO

Consiste en un conjunto secuencial y sistemático de órdenes que debe seguir el estudiante durante el proceso de la práctica. Se involucran normas de seguridad y precauciones a tomar en cuenta. Entre las órdenes que se mencionan en este paso del proceso de aprendizaje constan:

- Calibración y configuración de instrumentos
- Conexiones de los equipos
- Registro de datos
- Maniobra del proceso, en forma manual o automática

3.3.7 ANALISIS DE RESULTADOS

Una vez terminada la secuencia del procedimiento seguido durante la práctica, el alumno debe realizar un análisis de los datos obtenidos a fin de establecer diferencias, conclusiones, deducciones, cálculos, completar tablas de datos, etc.

3.3.8 INFORME – CUESTIONARIO

Luego del análisis de los resultados obtenidos y de realizar todos los cálculos pertinentes, el alumno debe estar en condiciones de responder satisfactoriamente a un conjunto de cuestionamientos que se presentan al final de la práctica, con el propósito de realizar una evaluación y establecer una cuantificación de lo aprendido, a efectos de la acreditación del conocimiento.

En caso de que no pueda responder convenientemente las preguntas del cuestionario, el alumno deberá realizar la práctica otra vez, haciendo énfasis en los pasos del procedimiento que fueron motivo de duda, incomprensión o falla en la toma de datos.

3.3.9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este punto el alumno debe establecer las conclusiones a las que ha llegado luego de terminar la práctica correspondiente y proponer algunas recomendaciones de carácter técnico o de procedimiento que fueren necesarios para la optimización de la práctica realizada.

3.3.10 BIBLIOGRAFIA

Aquí se detallan todas las fuentes de información que el alumno consultó: libros, revistas, catálogos, manuales, Internet, etc.

CAPÍTULO IV

MODELO DE APLICACIÓN PRACTICA

4.1 INTRODUCCIÓN

Tomando en consideración la estructura del modelo didáctico descrito en el capítulo III, esto es:

- Tema de estudio
- Objetivos
- Trabajo preparatorio
- Información teórica
- Equipo requerido
- Procedimiento
- Análisis de resultados
- Informe – cuestionario
- Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía

a continuación se plantean cuatro prácticas de laboratorio, una para cada módulo didáctico (nivel, flujo, presión y temperatura).

Cabe señalar que las prácticas escogidas para la muestra del modelo de aplicación práctica en el presente capítulo, no necesariamente corresponden a un orden secuencial o de jerarquía.

También es necesario indicar que el modelo metodológico esta orientado a estudiantes de ingeniería, en dónde la guía es de tipo general, dejando al alumno la iniciativa, la creatividad y el desarrollo de las destrezas que debe poner de manifiesto.

4.2 MODELO DE PRACTICAS

4.2.1 ESTACION DE PROCESO DE NIVEL

PRATICA No. 1

A. TEMA: CALIBRACION DE UN TRANSMISOR DE NIVEL

B. OBJETIVOS

1. Calibrar el Transmisor de Presión Diferencial (TPD) para especificar su rango de trabajo.
2. Observar la interacción entre los ajustes de “Cero” y de “expansión”, para un rango específico de operación.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte las ecuaciones necesarias para determinar la Presión en forma general y la presión hidrostática en particular de una columna de líquido en un tanque.
2. Consulte sobre diversos equipos sensores empleados para detectar y transmitir señales de presión a sistemas de control industrial.
3. Consulte sobre las características técnicas y sobre los límites de salida necesarios para el TPD.

D. INFORMACION TEORICA

Un TPD mide la diferencia de presión aplicada a través de su elemento de medida. El extremo de baja presión del transmisor se conecta a la fuente de baja presión. El extremo de alta presión del transmisor se conecta a la fuente de alta presión. La presión de una columna de líquido se define por:

$$\text{Presión} = \text{Densidad del fluido} \times \text{Altura del fluido} \times \text{Gravedad.}$$

La altura del fluido se expresa en pulgadas de agua. Si la densidad del fluido permanece constante, la presión se relaciona directamente con la altura del fluido. Por tanto, una columna de fluido provee un estándar muy útil para calibrar transmisores diferenciales de presión.

Un transmisor de Presión Diferencial tiene dos ajustes que relacionan la señal de salida con la presión diferencial detectada. Estos ajustes son el de cero y el de expansión o rango. El "ajuste de cero" se emplea para llevar el transmisor a su valor de salida de rango inferior con la presión diferencial aplicada en su valor de rango mínimo o inferior.

El "ajuste de expansión o rango" se emplea para llevar el transmisor a su valor de salida de rango superior con la presión diferencial aplicada en su valor de rango máximo o superior. La calibración de un Transmisor de Presión Diferencial corresponde al proceso de equilibrar las salidas de cero y de escala completa del transmisor a las presiones diferenciales aplicadas mínimas y máximas. Las presiones diferenciales reales que han de aplicarse al transmisor se derivan de la aplicación específica del sistema.

E. EQUIPO REQUERIDO

- Módulo de Proceso de nivel, incluyendo:

	DISPOSITIVO	CALIBRACIÓN
1	Convertidor Corriente a Presión (CCP).	4–20 mA / 3–15 psi
2	Controlador basado en Microprocesador (CBM).	Manual
3	Transmisor de Presión Diferencial (TPD).	6–26" WC / 4–20 Ma
4	Multímetro Digital de Mesa (MDM).	

CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR:

- Auto / Manual = Manual

F. PROCEDIMIENTO

NOTAS:

- Un TPD deberá localizarse de modo que el elemento sensor de presión esté a ras con el nivel mínimo de la columna de fluido. Usted notará que no es posible instalar el transmisor de manera que el sensor esté a ras con el fondo del tanque de proceso de nivel. Debemos por tanto familiarizarnos con “supresión de cero” y “elevación de cero” al calibrar el transmisor. Coloque el TPD bajo la repisa central del módulo de trabajo lo cual permite colocar el elemento sensor de presión aproximadamente a 6” de la columna de proceso. Por esto, se debe calibrar el TPD para un rango de 20” WC (Water Column). Recuerde que el TPD tiene un rango ajustable de 5 – 30” H₂O.
 - **Precaución:** *No active la bomba por períodos prolongados, estando las llaves cerradas, ya que puede afectar al motor de la bomba.*
1. Instale y conecte el equipo como se indica en el diagrama de lazo de la figura 1.1
 2. Opere la válvulas ($V_1 - V_{10}$) para que se habilite el camino cerrado del flujo, en el orden lógico.
 3. Coloque el controlador en manual. Active el interruptor de la bomba y realice el procedimiento para llenar el tanque de proceso a 15”WC.
 4. Realice el procedimiento para que el transmisor mida la presión atmosférica y la presión de la columna de agua. La diferencia

entre las dos es la presiones determina la altura de la columna de agua. Como se está calibrando este transmisor utilizando agua, es necesario purgar el aire del extrema de alta presión. Sostenga un recipiente bajo el desagüe de alta presión y abra el tapón hasta que fluya una corriente constante de agua. Apriete el tapón de desagüe.

5. Abra la válvula V5 hasta que el nivel de la columna de agua baje a 6" WC; gradúe el tornillo de Ajuste de Cero en el transmisor para que el MDM indique 4 mA.
6. Active la bomba y abra la válvula V1 hasta que el tanque se llene a 26" WC; gradúe el tornillo de Ajuste de Rango o Expansión en el Transmisor para que el MDM indique 20 mA.
7. Revise las lecturas del MDM a 6" WC y 26" WC ya que cualquiera de los ajustes de cero o de rango, afectan ambos valores.
8. Llene la tabla 1.1. Sí los valores observados no concuerdan con los deseados, repita el proceso de calibración.

TABLA 1.1: Valores de la práctica para la calibración del Transmisor de Nivel.

ENTRADA	RANGO (%)	SALIDA DESEADA (mA)	SALIDA OBSERVADA (mA)
	0		
	25		
	50		
	75		
	100		
	75		
	50		
	25		
	0		

G. CUESTIONARIO

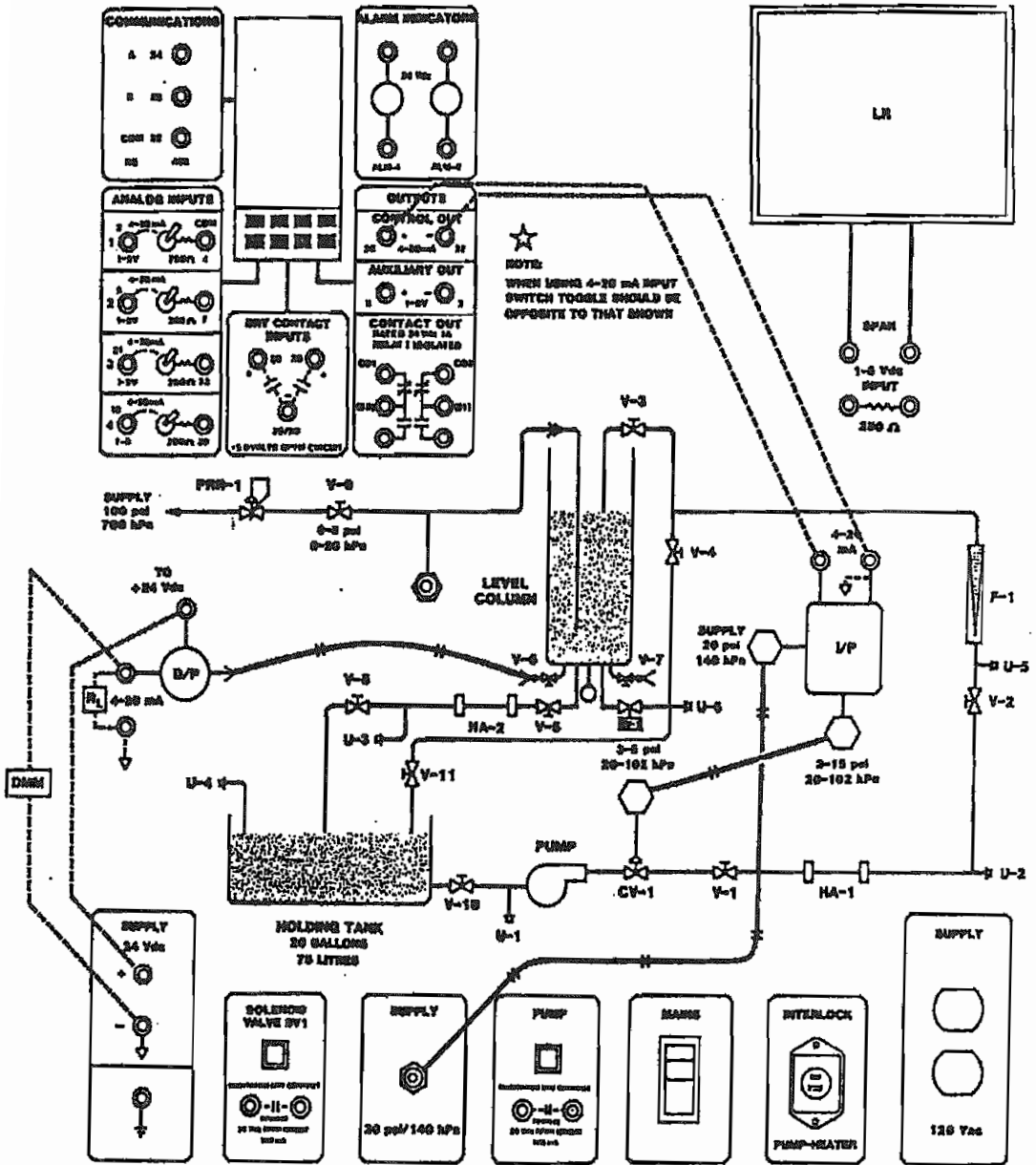
1. Un TPD se calibra con un fluido de una densidad dada y se utiliza para detectar un fluido de menor densidad. ¿Qué efecto se vería en la indicación resultante?
2. Con los valores de la tabla 1.1 grafique la curva "Entrada Vs. Salida". Interpretela.
3. ¿Cuál sería el efecto sobre la posición de la calibración, si no hubiese eliminado el aire atrapado en el TPD, al utilizar agua como medio de calibración?

H. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. BIBLIOGRAFÍA

MODULO DE CONTROL DE NIVEL

FIGURA 1.1: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA LA CALIBRACION DE UN TRANSMISOR DE NIVEL - DIAGRAMA DE LAZO.



————— señal neumática
 - - - - - señal eléctrica

4.2.2 ESTACION DE PROCESO DE FLUJO

PRATICA No. 2

A. TEMA: CONTROL PROPORCIONAL DE UN PROCESO DE FLUJO

B. OBJETIVOS

1. Analizar los efectos que demandan los cambios en el punto de referencia de un control proporcional en un proceso de flujo.
2. Verificar la influencia de la banda proporcional con respecto al error de offset y la estabilidad.

B. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte el modelo matemático de la respuesta en función del error, de un control proporcional.
2. Consulte dos formas de aumentar la estabilidad en un controlador proporcional.

C. INFORMACION TEORICA

Es importante para el individuo que debe calibrar los instrumentos usados para controlar el proceso, entender como el proceso responde a cambios. Un método fácil para observar como se afectan las características de ajuste del controlador de un proceso, es provocando perturbaciones en el proceso y monitoreando la reacción en un registrador de velocidad variable.

El punto de referencia es escogido representando el valor deseado de la variable controlada. Las entradas del controlador resultan de la medida de la variable controlada y determinan una salida para el elemento de control final, de acuerdo con la magnitud de la

desviación desde el punto de referencia y como el operador haya establecido el instrumento. El resultado de las diferentes referencias puede ser observado en el registrador gráfico.

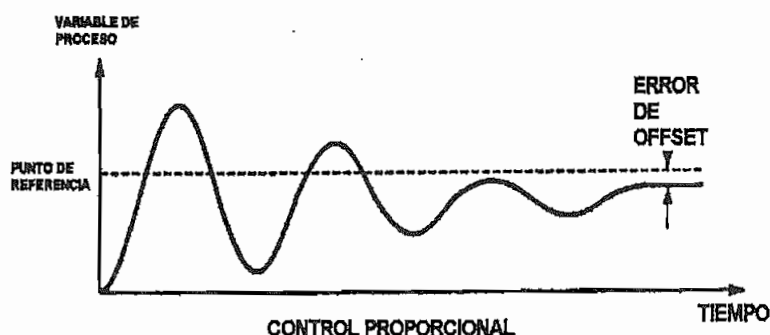


Fig. 2.1 Respuesta en el tiempo del modo de control proporcional.

La función principal de un controlador proporcional, es mantener el proceso dentro de una banda específica de puntos de control. La misma que es proporcional a una relación lineal de salida - entrada.

$$\text{Banda proporcional} = \frac{\% \text{ Cambio en la entrada}}{\% \text{ Cambio en la salida}} * 100\%$$

La ganancia es la razón de salida a entrada de cualquier sección de un sistema controlado y esta inversamente relacionado con la banda proporcional.

Con una ganancia baja, se requiere de un gran cambio en la señal de entrada para causar un cambio en la salida desde 0 – 100%. Dentro de la banda proporcional, la salida del controlador es proporcional a la entrada de la señal y el factor de ganancia determina la relación proporcional. La magnitud del error de offset se relaciona directamente a la banda proporcional. La alta ganancia da como resultado un error de offset reducido pero incrementa la estabilidad.

D. EQUIPO REQUERIDO

- Módulo de Proceso de flujo, incluyendo:

	DISPOSITIVO	CALIBRACIÓN
1	Microcontrolador PID Foxboro 761	
2	Transmisor de Presión Diferencial (TPD)	0 – 50" H ₂ O / 4 – 20 mA
3	Registrador de curvas (FR)	1 - 5 VDC / 4 – 20 mA
4	Medidor de flujo de área variable (FI)	
5	Elemento de flujo Venturi (FE)	

CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR:

- Auto / Manual = Manual
- Punto de referencia = 50%
- Modos = P (solo proporcional)
- Mediciones: Format = SQR (Raíz cuadrada)
- Salida 2 = Medición de proceso
- Ganancia = 1 (PB = 100%)

E. PROCEDIMIENTO

- **Precaución:** *No active la bomba por períodos prolongados con el proceso apagado, ya que puede afectar al motor de la bomba.*
1. Coloque y conecte el equipo como en el diagrama de lazo de la figura 2.2
 2. Verifique que V1, V2, V3, V4, V5, V7 estén abiertas y que V6 este cerrada, para que la circulación del fluido sea normal. Coloque el controlador de la bomba en manual, incremente el flujo hasta que exista suficiente presión para drenar el aire existente en el terminal de alta presión (HP) y el de baja presión (LP) del transmisor de flujo. Coloque el controlador de la bomba en señal de manejo.
 3. Configure el controlador con los datos de instrumentación. Usando el ajuste manual, coloque la salida de la bomba de manejo al 50%.

4. Manualmente ajuste la salida hasta que la variable medida sea igual al punto de referencia y $BP = 50\%$.
5. Comience el registro y coloque el controlador en automático.
6. Registre los efectos en la respuesta del controlador, al variar el punto de referencia (SetPoint), para lo cual:
 - a. Ajuste la ganancia a 1 (100% de banda proporcional).
 - b. Decremento rápidamente el punto de referencia al 30%.
 - c. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
 - d. Ajuste el punto de referencia al 50% y permita que el proceso se estabilice.
7. Decremento la ganancia proporcional y verifique la respuesta del controlador, al variar el SetPoint.
 - a. Ajuste la ganancia a 0,5 (200% BP).
 - b. Comience el registro.
 - c. Rápidamente decremente el punto de referencia al 30%.
 - d. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
 - e. Ajuste el punto de referencia al 50% y deje que el sistema se estabilice.
8. Incremente la ganancia proporcional, y verifique la respuesta del controlador al variar el SetPoint.
 - a. Ajuste la ganancia a 1,25 (80% BP)
 - b. Comience el registro
 - c. Rápidamente decremente el punto de referencia al 30%.
 - d. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
 - e. Apague la bomba.

F. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Describa la respuesta del controlador obtenida en el registro para el paso 6 del procedimiento. Realícelo en términos de error de offset y la estabilidad.
2. Para el efecto del decremento en la ganancia, en respuesta al cambio del punto de referencia (paso 7) describa la forma de respuesta obtenida en el registrador de curvas, en términos de error de offset y estabilidad. Compare con el paso anterior.
3. Para el efecto del incremento en la ganancia, en respuesta al cambio del punto de referencia (paso 8) describa la forma de respuesta obtenida en el registrador de curvas, en términos de error de offset y estabilidad. Compare con el punto 1.

G. CUESTIONARIO

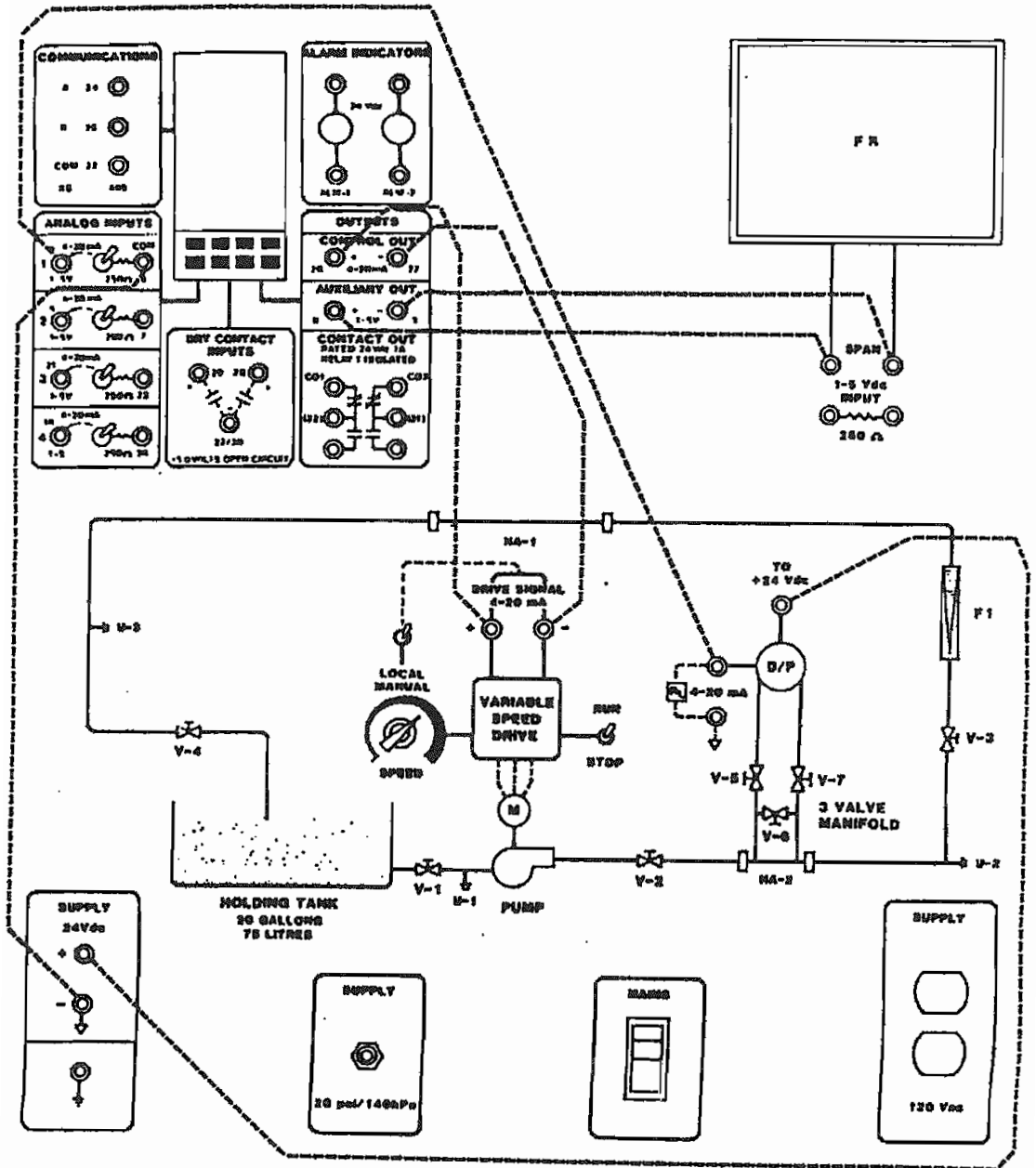
1. ¿Qué efectos sobre el error de offset y la estabilidad tiene el uso de una ganancia baja en el controlador?
2. Después de cambiar el punto de referencia en el proceso, ¿cómo podría eliminarse el error de offset en el proceso?
3. ¿Usted desearía tener, una banda proporcional grande o un error de offset pequeño?. Explique.

H. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE FLUJO

FIGURA 2.2: DIAGRAMA DE LAZO - CONTROL PROPORCIONAL



————— señal neumática
 - - - - - señal eléctrica

4.2.3 ESTACION DE PROCESO DE PRESION

PRATICA No. 3

A. TEMA : CONTROL PROPORCIONAL E INTEGRAL APLICADO A UN PROCESO DE PRESION

B. OBJETIVOS

1. Analizar la curva de respuesta de un modo de control proporcional – integral para un proceso de presión.
2. Analizar los efectos de cambiar el valor de la banda proporcional en este controlador al aplicarlo a un proceso de presión.
3. Analizar los efectos de un cambio en el tiempo integral en este tipo de control para un proceso de presión.
4. Analizar los efectos de las variaciones en el setpoint sobre la respuesta del proceso de presión.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte la expresión matemática que define a un controlador proporcional - integral, analice sus componentes.
2. Consulte sobre la forma de la curva de respuesta al error de un modo de control P-I e interprétela.
3. Consulte las principales ventajas de un control P-I respecto de modo sólo proporcional.

D. INFORMACION TEORICA

Es importante para el profesional entender la manera como un proceso controlado responde a perturbaciones para lo cual debe calibrar el instrumento usado en un proceso de control.

La adición de la acción integral, algunas veces llamada la acción RESET, elimina el error offset existente en el controlador proporcional. La ventaja primordial en el modo de control integral, es que la salida del controlador continua reponiendo el elemento de control final antes de que se reduzca el error a cero, dentro de las limitaciones del sistema.

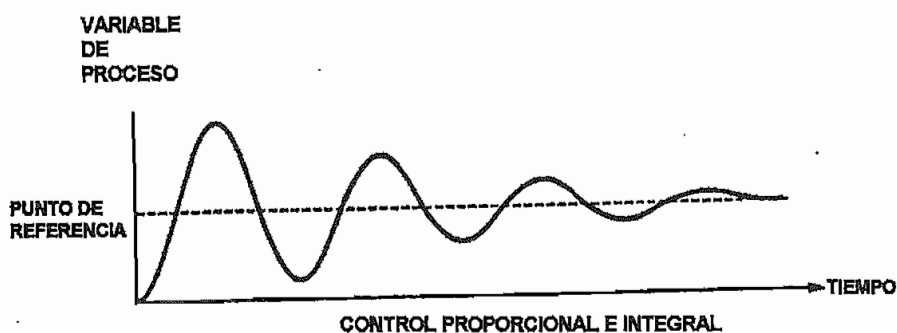


Fig. 3.1 Control proporcional-integral

La mayor desventaja del modo de control integral es que la salida del controlador no es directamente inmediata al elemento de control final para una señal de error en una nueva posición.

La adición de la acción integral al control proporcional automático funciona estableciendo la ganancia que fue manualmente lograda. Por esta razón, los controladores proporcionales-integrales son algunas veces referenciados como proporcionales automáticos reajustados o simplemente controladores proporcionales reajustados.

Establecer una alta ganancia proporcional da como resultado un incremento en la inestabilidad. Un incremento en el tiempo integral

va a causar que el proceso se estabilice rápido al valor del setpoint, pero también produce inestabilidad si se ajusta muy alto este valor.

E. EQUIPO REQUERIDO

- Módulo de Proceso de presión, incluyendo:

	DISPOSITIVO	CALIBRACIÓN
1	Microcontrolador PID Foxboro 761	
2	Transmisor de Presión Electrónico (TPE)	0 – 100 psi / 4 – 20 mA
3	Registrador de curvas (FR)	1 - 5 VDC / 4 – 20 mA
4	Transductor de corriente a presión (IP)	4 – 20 mA / 3 – 15 psi

CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR:

- Auto / Manual = Manual
- Punto de referencia = 50%
- Modos = PI
- Ganancia = 1 (PB = 100%)
- Tiempo integral = 0.1 min/rep.
- Acción = Reverso (Inc / Dec)

F. PROCEDIMIENTO

1. Coloque y conecte el equipo como en el diagrama de lazo de la figura 3.2
2. Calibre el transmisor de presión conforme se indica en el punto E.
3. Coloque el controlador en el modo manual.
4. Obstruya el orificio entre las válvulas V3 y V4, abra totalmente V4, cierre V5 y parcialmente abra V3 para introducir carga al proceso. Las válvulas V1 y V2 deben estar parcialmente abiertas.

5. Manualmente ajuste la salida del controlador hasta que la variable medida sea igual al setpoint. Inicie el registro.
6. Coloque el controlador en automático.
7. Registro de la respuesta para cambio de carga en el proceso, para esto:
 - a. Abra parcialmente la válvula V5.
 - b. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
 - c. Cierre la válvula V5 y deje que el proceso se estabilice.
8. Registro de la respuesta para el incremento de la ganancia para diferentes cargas.
 - a. Incremente la banda proporcional $PF = 120\%$.
 - b. Comience el registro.
 - c. Repita los pasos 7 (a, b y c).
9. Registro de la respuesta para el incremento de la acción integral para diferentes cargas.
 - a. Coloque el tiempo integral $IF = 0.2 \text{ min/rep}$.
 - b. Comience el registro.
 - c. Repita los pasos 8 (a, b y c).
10. Registro de la respuesta para la ganancia original y la acción integral para cambios del punto de referencia.
 - a. Ajuste la ganancia a 1 ($PF = 100\%$) y reajuste a 10 rep/min ($IF = 0.1 \text{ min/rep}$).
 - b. Comience el registro y rápidamente decremente el setpoint al 20%.
 - c. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
 - d. Ajuste el setpoint al 50%, permita que el proceso se estabilice.

11. Registro de la respuesta para el cambio de la ganancia proporcional.
 - a. Ajuste la banda proporcional $PF = 120\%$
 - b. Repita los pasos 10 (b, c y d).

12. Registro de la respuesta para el cambio de la acción integral.
 - a. Ajuste el tiempo integral $IF = 0.2 \text{ min/rep.}$
 - b. Repita los pasos 11 (b, c y d)

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Para el paso 7, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
2. Para el paso 8, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
3. Para el paso 9, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
4. Para el paso 10, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
5. Para el paso 11, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
6. Para el paso 12, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.

H. CUESTIONARIO

1. ¿Qué efectos ocurren con la adición de la acción integral para un controlador proporcional?

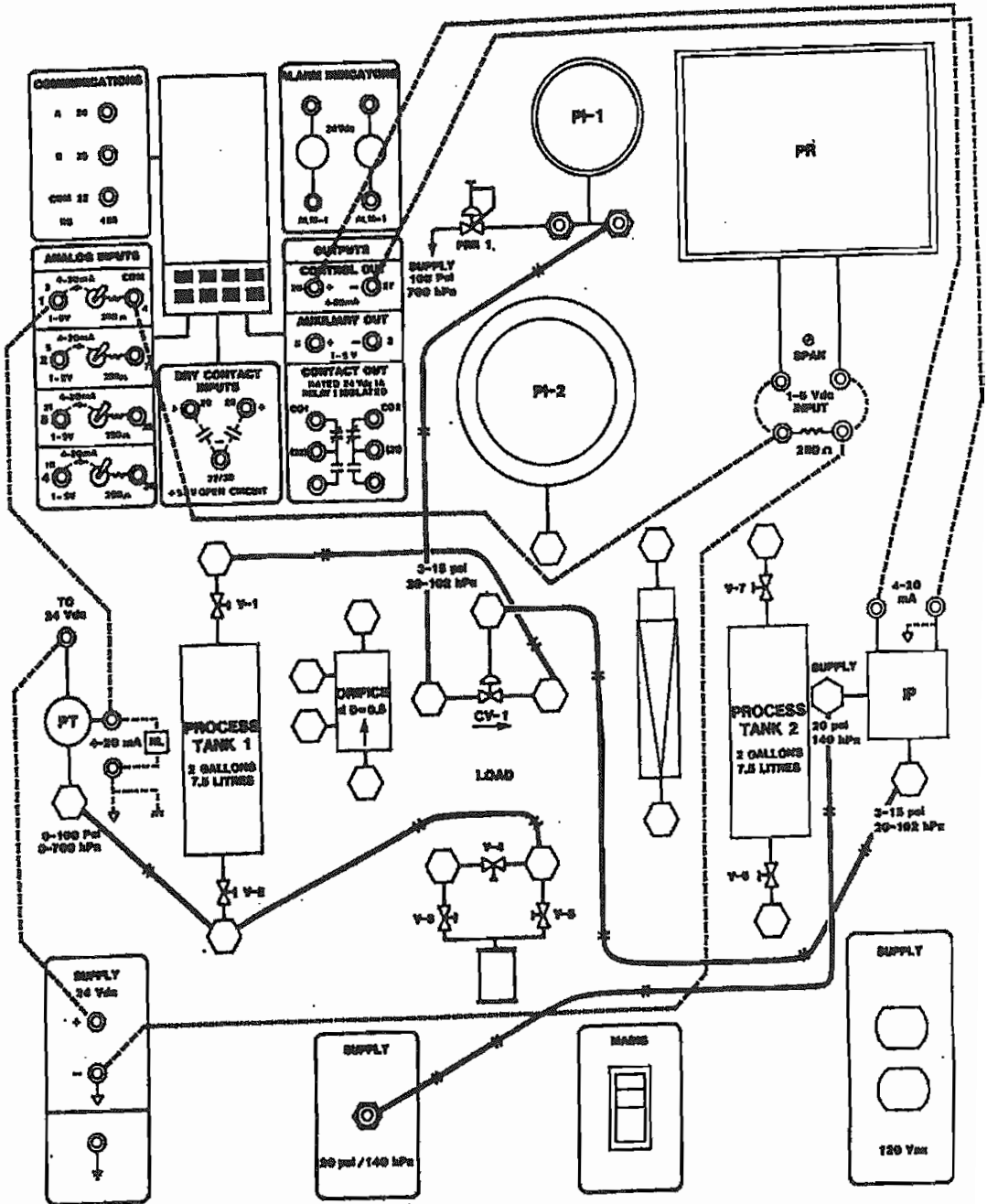
- 2 ¿Tiene algún efecto sobre la acción integral el cambio del setpoint de un controlador proporcional-integral?. Explique.
- 3 ¿El cambio en las repeticiones por minuto del controlador, causados por la acción integral, proporcionan cambios en la ganancia?. Explique.

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

ESTACION DE CONTROL DE PRESION

FIGURA 3.2: DIAGRAMA DE LAZO – CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL



————— : señal neumática
 - - - - - : señal eléctrica

4.2.4 MODULO DE PROCESO DE TEMPERATURA

PRATICA No. 4

A. TEMA: REGULACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA UTILIZANDO EL MODO DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO.

B. OBJETIVOS

1. Estudiar las características del modo de control Proporcional Integral Derivativo (PID) en la regulación automática de una variable dinámica como es la temperatura.
2. Analizar los procedimientos de instrumentación y la utilización de los elementos que intervienen en el control PID al realizar la regulación automática de temperatura.
3. Determinar la correcta calibración de las constantes que intervienen en este modo de control.
4. Analizar la respuesta del proceso en el uso de las ganancias que intervienen en la operación del instrumento controlador.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consultar las características operativas del modo de control PID.
2. Determinar las condiciones que hacen que el modo de control PID sea el más versátil y el de mayor confiabilidad dentro de la regulación automática de los procesos industriales.
3. Consultar diagramas electrónicos que permiten implementar en forma eficiente el modo de control PID

4. Consultar en qué tipo de aplicaciones industriales se puede aplicar el modo de control PID

D. INFORMACION TEORICA

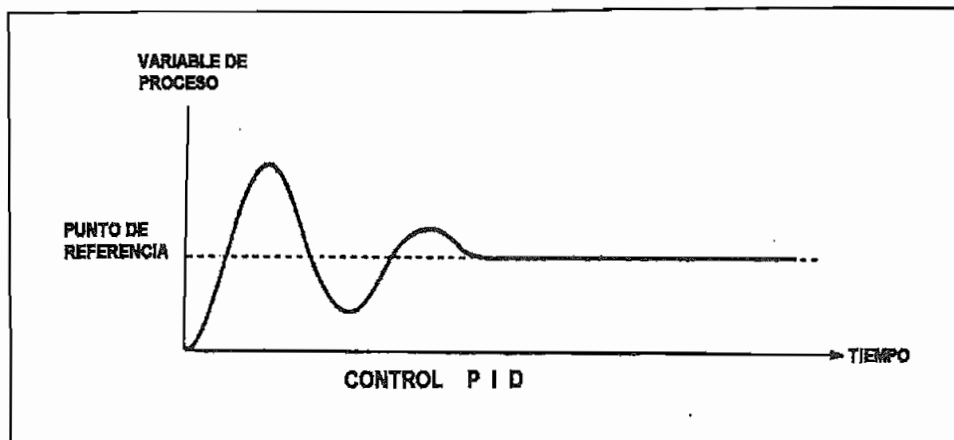
El modo de control Proporcional Integral Derivativo, es el modo de control más completo entre todos los existentes, este tipo de control tiene dicha característica, pues aprovecha todas las ventajas que presentan los tres modos de control individuales, y es más, elimina los inconvenientes que estos puedan presentar.

Algunos de los procesos no toleran errores de compensación, aunque necesitan estabilidad. Para ello debe usarse un sistema de control que combine las ventajas del proporcional, del derivativo, y del integral (PID).

La acción derivada hace que la salida proporcional se adelante, lo que produce una rápida señal de salida en el elemento de control final. A medida que la velocidad de cambio en el error de la señal cambia, la salida en el controlador inicial es mayor. Esto ayuda al controlador a anticipar amplitudes de error más grandes que dan como resultado un rápido cambio de error en las señales.

La acción derivativa no es usualmente utilizada en procesos de respuesta rápida tales como el control de flujo, o con procesos ruidosos, debido a que la acción derivativa responde a cualquier velocidad de cambio en el error de la señal, incluyendo el ruido.

El control derivativo se usa en sistemas de control para procesos en los cuales el retraso de tiempo (tiempo para medir un cambio) es largo. Este control se considera difícil de implementar, ajustar y adicionalmente sólo se utiliza cuando la cantidad de retraso de tiempo es extensa. Es típico utilizarlo como control PID para el control de temperatura y otras aplicaciones lentas.



E. EQUIPO REQUERIDO

- Módulo de Proceso de temperatura, incluyendo:

	DISPOSITIVO	CALIBRACIÓN
1	Microcontrolador PID Foxboro 761	
2	Termocupla Tipo J.	
3	Registrador de curvas (FR)	1 - 5 VDC / 4 - 20 mA
4	Transmisor de termocupla (TT)	0-200°C (0-400°F) / 4-20 mA

CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR:

- Auto / Manual = Manual
- Setpoint = 50%
- Acción = Inversa (Incremente – decremente)
- Modo de control = PID
- Banda proporcional = 100%
- Tiempo integral = Mínimo
- Acción derivativa = 0.01Mínimo
- Entrada analógica
- Accionamiento de la señal: Ninguno
- Salida del controlador: Primario

F. PROCEDIMIENTO.

1. Conecte la estación de control según lo indica el diagrama de lazo en la figura 4.2.
2. Coloque el interruptor del control del termostato en la posición Driver. Abra el registro del horno y establezca una pequeña carga enfriadora desde el inyector de aire.
3. Ajuste manualmente la salida del controlador hasta que la variable del proceso a medir iguale el valor del setpoint fijado. Luego coloque el interruptor en automático.
4. Introduzca una perturbación en el proceso, aplicando una carga enfriadora al horno al abrir la válvula V-1.
 - a) Inicie la operación del registrador, colocándolo en velocidad lenta.
 - b) Aumente la presión del aire en el inyector y registre la curva de respuesta hasta que el proceso se estabilice, entonces detenga el registrador.
 - c) Reduzca la presión del aire en el inyector y deje que el proceso se estabilice.
5. Incremente la ganancia del controlador variando la banda proporcional y repita la fase 4 de (a) a (c)
6. Incremente la acción integral en el controlador y repita la fase 4 de (a) a (c).
7. Incremente la acción derivativa en el controlador y repita la fase 4 de (a) a (c).
8. Ajuste la banda proporcional al 100%, la constante integral a 0,11 y la derivada a 0.06.

- a) Cambie el setpoint a 20%, e inmediatamente inicie el registro de la curva de respuesta.
 - b) Cuando el proceso se haya estabilizado detenga el registrador, y coloque el setpoint nuevamente en 50%.
9. Reduzca la banda proporcional a 50% y repita los pasos de la fase 8 (a) y (b).
 10. Incremente la acción integral a 20 min/rep y repita los pasos de la fase 8 (a) y (b)
 11. Incremente la acción derivativa a 0.8 min y repita los pasos de la fase 8 (a) y (b).
 12. Desconecte todos los elementos de la estación, baje todos los voltajes a cero.

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Usando papel milimetrado y en una escala adecuada, trace las curvas de respuesta del proceso, en base a las curvas obtenidas en el registrador, para cada punto considerado en el experimento (Indique a la variación de que parámetro corresponde cada gráfico).
2. Describir cada una de las curvas trazadas en el punto anterior en términos de error residual y estabilidad.

H. CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las ventajas de utilizar un controlador proporcional, más integral, más derivativo?.

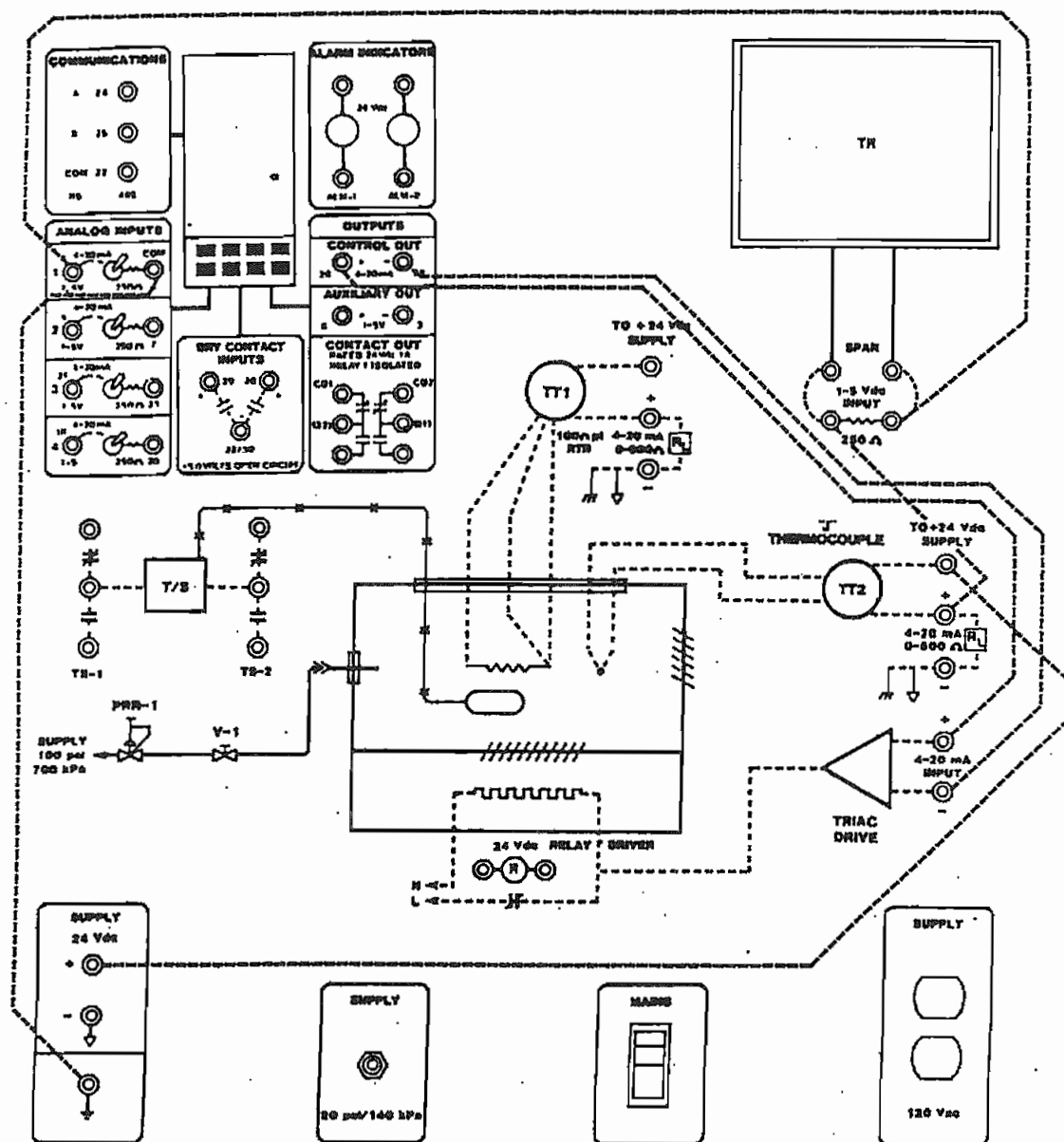
2. ¿Con los mismos estados integral y derivativo, qué cambio se produce en el integral y en la acción derivada cuando se incrementa la ganancia del controlador?
3. ¿Puede afectarse la acción integral de un controlador PID cuando se hace un ajuste en el estado derivativo?

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

ESTACION DE CONTROL DE TEMPERATURA

FIGURA 4.2: DIAGRAMA DE LAZO – CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO



Señalización: ————— : señal neumática
 ***** : señal eléctrica

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. CONCLUSIONES

1. Se ha logrado implementar un modelo didáctico, basado en las teorías de aprendizaje constructivista y con los conceptos de la instrumentación didáctica crítica, mediante el cual se mejora la capacitación y formación técnica del estudiante a nivel de Ingeniería.
2. Mediante un diagnóstico del estado actual de los equipos e infraestructura, se ha logrado mejorar las instalaciones y servicios que presta el laboratorio de Control de Procesos Industriales, tanto para la capacitación de estudiantes como de personal involucrado en la producción.
3. Los módulos didácticos de aprendizaje estudiados permiten la planificación de cursos regulares de formación técnica dirigido a estudiantes, así como también de cursos, seminarios o talleres dirigidos a personal técnico de las industrias del país.
4. Con la aplicación de este modelo didáctico de aprendizaje, se eleva la calidad de la educación en las instituciones educativas, lo que beneficia el desarrollo del país.
5. El modelo didáctico propuesto permite la formación y capacitación de estudiantes, profesionales y personal técnico, de tal forma que el control de los procesos industriales alcanza un nivel de optimización y mejora la producción de la industria ecuatoriana.
6. Se ha implementado la Guía del Instructor y la Guía del estudiante, lo que permite cumplir con los objetivos planteados.

B. RECOMENDACIONES

- ✓ 1. Planificar cursos de capacitación a los docentes responsables de trabajar en el laboratorio de Control de Procesos Industriales.
- ✓ 2. Implementar el laboratorio con un computador más actualizado capaz de optimizar los proceso de control y diagnóstico de fallas en los equipos y en el proceso mismo.
- ✓ 3. Complementar el laboratorio con los equipos, muebles y ayudas audiovisuales con tecnología de punta, necesarias para optimizar el proceso de aprendizaje.
- ✓ 4. Implementar una disposición adecuada de la infraestructura física existente y realizar un mantenimiento preventivo de los equipos y elementos de control de los módulos didácticos.
- ✓ 5. Promocionar los cursos de actualización y capacitación a personal técnico de la diferentes industrias del país.
- ✓ 6. Poner en práctica el proceso metodológico del modelo didáctico de aprendizaje para mejorar la calidad de la educación en los establecimientos de Educación Técnica a nivel intermedio y superior.
- ✓ 7. Preparar cursos, seminarios o talleres de actualización y capacitación dirigidos a los profesionales técnicos que están inmersos en el área de a la automatización de procesos industriales.
- ✓ 8. La capacitación y destreza en el manejo de los equipos permite concretizar el conocimiento científico adquirido en el aula de tal forma que el aprendizaje sea significativo, como sugiere la teoría constructivista, por tal razón es conveniente recomendar que el

tratamiento del tema u objeto de estudio se desarrollen paralelamente la teoría con la práctica.

9. En virtud de la naturaleza del objeto de estudio, es decir por su carácter técnico, es conveniente que se permita al estudiante desarrollar destrezas mentales y manuales que faciliten la comprensión y el aprendizaje de los conceptos y fenómenos que la ciencia y la técnica ponen a su alcance, para el desarrollo de la creatividad y por tanto lograr que el profesional en formación pueda alcanzar el éxito en su vida práctica. Sugiero entonces que el tratamiento de las asignaturas de carácter técnico sean complementadas con laboratorios, talleres y ayudas audiovisuales.

10. No se puede prescindir completamente de una "clase magistral, conferencia o explicación" que deba hacer el instructor, pero si ésta es apoyada con ayudas audiovisuales o clases demostrativo-interactivas, el proceso de aprendizaje será significativo ya que el estudiante comprende mejor el concepto o fenómeno que ocurre y luego podrá experimentar en la práctica frente a los equipos, herramientas y otros elementos; que de acuerdo a la Teoría de aprendizaje de Vigotsky, el alumno en forma individual tiene la capacidad de aprender una serie de conocimientos de acuerdo a su nivel de desarrollo, por lo tanto sugiero que los señores docentes, responsables del laboratorio, faciliten a sus alumnos todo el material tecnológico y científico necesario para su preparación previa al uso y manejo de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

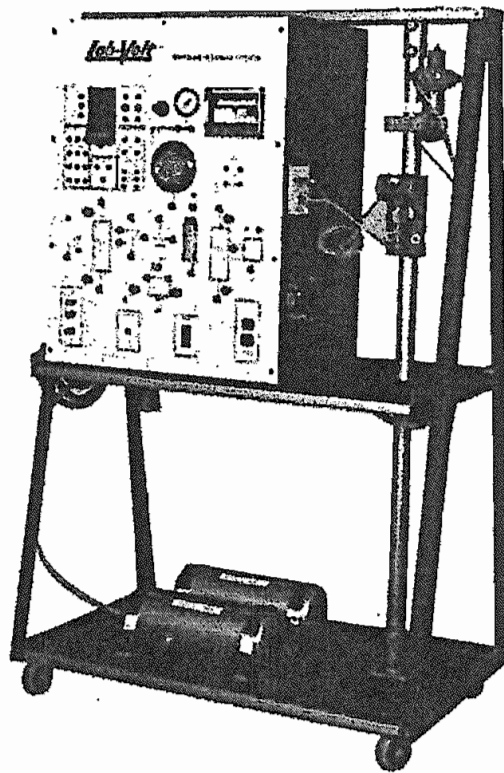
- Barker, C. (1997): Mejora de las oportunidades de aprendizaje a través de cursos electrónicos (ECD)
- Borrás, I. (1997): Enseñanza y aprendizaje con la Internet: Una aproximación crítica.
- Lázaro y otros (1999): Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación como mediadoras del proceso enseñanza - aprendizaje
- Athans, M. And P.L. Falb, Optimal Control: An Introduction to the theory and its applications. New York: McGraw – Hill Book Company.
- Brogan, W. L. , Modern Control Theory. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Campbell, D. P. , Process Dynamics. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Franklin, G. F. , J.D. Powell, and A. Emami – Naeini, Feedback Control of Dynamics Systems. Reading, Mass. : Addison Wesley Publishing Company, Inc.
- Friedland, B. , Control System Design. New York: McGraw – Hill Book Company.
- Gibson, J. E. , Non linear Automatic Control. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Kuo, B. C. , Automatic Control Systems. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice – Hall, Inc.
- La Salle, J. P. , and S. Lefschetz, stability by Liapunov's Direct Method with Applications. New York: Academic Press, Inc.
- Ogata, K., State Space Analysis of control Systems. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall, Inc.
- Ogata, K., System Dynamics. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall, Inc.
- Ogata, K., Discrete - Time Control Systems. Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall, Inc.
- Labvolt, Sistemas de enseñanza en control de procesos Industriales (1998)
- Bloom S. B. Taxonomía de los objetivos de la educación. (1981)

ANEXOS

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA



GUIA DEL ESTUDIANTE

Quito, Marzo del 2002

CONTENIDO

Introducción.....	1
Práctica No. 1:	
Operaciones básicas de un controlador basado en un microprocesador.....	2
Práctica No. 2:	
Programación básica de un controlador basado en microprocesador.....	6
Práctica No. 3:	
Calibración de un transmisor de nivel.....	14
Práctica No. 4:	
Calibración de un transmisor de presión.....	21
Práctica No. 5:	
Características del tiempo de respuesta del proceso y del transmisor de presión.....	25
Práctica No. 6:	
Características del proceso de presión.....	30
Práctica No. 7:	
Medición de nivel usando un surtidor de burbujas.....	36
Práctica No. 8:	
Medición de nivel de un tanque abierto	41
Práctica No. 9:	
Medición de nivel con supresión de cero	47
Práctica No. 10:	
Medición de la temperatura utilizando una termocupla J.....	53
Práctica No. 11:	
Medición de temperatura utilizando un RTD.....	59
Práctica No. 12:	
Control proporcional de un proceso de flujo	63
Práctica No. 13:	
Control proporcional e integral aplicado a un proceso de presión	71
Práctica No. 14:	
Control proporcional e integral y derivativo en un proceso de nivel	78
Práctica No. 15:	
Regulación automática de temperatura utilizando el modo de control proporcional, integral derivativo	86

INTRODUCCION

El rápido avance en la tecnología de los instrumentos y el control de los procesos industriales ha aumentado el número de tareas realizadas por los técnicos de instrumentos en las plantas industriales. Entre estas tareas se cuentan: calibración, solución de problemas y reparación de instrumentos, que van desde el relé amplificador neumático hasta los controladores automáticos basados en un microprocesador. Para realizar estas tareas sin perjudicar la producción de la planta y los costos de mantenimiento, es fundamental contar con una correcta capacitación, la misma que se logra con el aprendizaje significativo basándose en la teoría y en la concretización del conocimiento mediante el uso de laboratorios o talleres debidamente equipados acorde con la tecnología de punta.

Desde este punto de vista, el presente trabajo es una propuesta metodológica que permite concretizar el conocimiento teórico adquirido en el aula mediante un proceso didáctico que toma en cuenta un orden sistemático para llegar al objetivo de estudio.

La Guía del Estudiante introduce a los alumnos y personal técnico involucrado en los procesos de automatización y control industrial, a las características básicas de las principales variables del proceso. El modelo didáctico de aprendizaje a través de los módulos de control industrial está diseñado de tal manera que los estudiantes empezarán por estudiar fundamentos del proceso, calibración de sensores y transmisores, la operación de controladores basados en microprocesador hasta realizar prácticas de control de lazo cerrado y diagnóstico de fallas con lo cual completan el programa.

Es importante y necesario que el alumno se familiarice con el manejo del elemento de control más importante de los módulos didácticos, por tanto las dos primeras prácticas a realizar corresponden a la operación y programación del microcontrolador, el mismo que está instalado en los cuatro módulos didácticos. A continuación se presentan las diferentes prácticas a desarrollarse.

PRACTICA No. 1

A. TEMA : OPERACIONES BASICAS DE UN CONTROLADOR BASADO EN MICROPROCESADOR.

B. OBJETIVOS:

1. Analizar la forma de operación del microcontrolador Foxboro 761 instalado en el módulo de proceso de presión.
2. Familiarizar al estudiante con las teclas del panel frontal del microcontrolador.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte la disposición del panel frontal del microcontrolador a usarse en este experimento.
2. Consulte la función de las teclas existentes en el papel frontal del microcontrolador.
3. Consulte que parámetros se muestran normalmente en los segmentos gráficos del display del microcontrolador.

D. INFORMACION TEORICA

El controlador industrial es el instrumento responsable principal de la revolución en la automatización de la industria, o en el control automático de las variables de control de un proceso. Las aplicaciones pueden ser desde la más sencilla como una simple operación de control on-off, como para implementar sistemas automatizados para accesos directos a un computador como base de un sistema. El control puede aplicarse a sólo una variable

como la temperatura, la presión, la conductividad eléctrica o el flujo de un fluido o puede responder literalmente a cientos de procesos con muchas variables simultáneas.

Los controladores basados en microprocesadores son ahora una parte integral de la industria en el campo de la instrumentación. Estos controladores son clasificados como "instrumentos inteligentes". Ellos pueden ser controlados por un microprocesador en un instrumento específico o puede ser parte de una red de unidades controladas por un sistema central del computador.

Los microprocesadores son circuitos integrados que albergan funciones computacionales en un solo chip. Este tipo de sistemas son clasificados como controladores digitales universales. Los datos son mostrados en una pantalla digital y el control puede ser programado de acuerdo a las demandas del sistema. Estas unidades tienen memoria y responden a todos los cambios de señal a través de señales digitales. Los controladores digitales son compactos, autocontienen unidades que pueden ser unidas directamente a los instrumentos o máquinas que vayan a ser controladas.

Las series de estaciones de microcontroladores de Foxboro 760 y 761 contienen un controlador basado en un microprocesador y contienen las funciones estándares proporcional, integral y derivativos (PID). Esto puede ser configurado por el sintonizador EXACT para un monitoreo continuo de la función del PID y automáticamente ajustarlo cuando sea requerido. El modelo 761 tiene una extensión de control que incluye al control en cascada.

E. EQUIPO REQUERIDO

- Módulo didáctico de proceso de presión.
- Controlador Foxboro 761 (montado en el módulo).

F. PROCEDIMIENTO

Nota: Si el botón W/P (panel de la estación de trabajo) está configurado el controlador deberá funcionar en el modo P (panel).

1. Cierre el interruptor principal. Este va a energizar el controlador.
2. Habitúese al panel frontal del controlador. Refiérase a la figura 1.1. El panel contiene todos los ajustadores de operación y los controles: el Display alfanumérico, el Display gráfico y el tablero de botones.

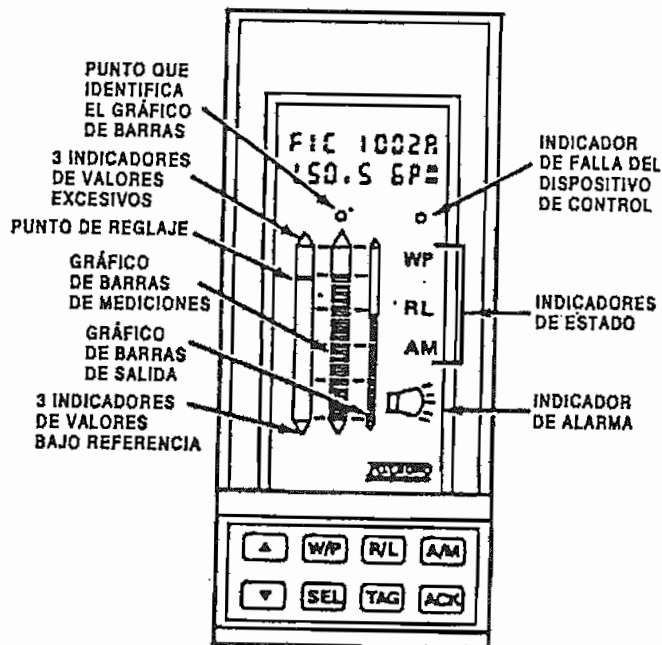


Figura: 1.1 Panel frontal del controlador

3. Lectura de los valores de la gráfica de barras: los valores numéricos de cada gráfica de barras pueden ser mostrados presionando sucesivamente el botón SEL. En cada momento que el botón sea presionado, el punto iluminado identificado arriba de una de las gráficas de las barras es mostrado en la línea inferior del display alfanumérico.

Nota: Si el controlador es configurado en un punto de referencia Radio o Remoto hay una cuarta posición (donde el punto identificador no está iluminado). En esta cuarta posición el display alfanumérico muestra el valor del setpoint (R o L). Para determinar cual punto de referencia es usado note cuál símbolo (R o L) está iluminado en la parte derecha del display gráfico.

4. Uso del botón A/M (Automático/Manual) para colocar el controlador en manual. Use el botón SEL para colocar el punto identificador iluminado sobre la salida de la gráfica de barras. Cambie la salida usando los botones de flecha arriba y abajo.
5. Use el botón SEL para colocar el punto de identificación sobre el punto de referencia de la gráfica de barras. Practique haciendo cambios en los puntos de referencia (setpoint) de 5%, 10%, 20% y 30% usando los botones de flechas. Usted va a necesitar velocidad y precisión durante algunos de los siguientes experimentos.
6. Repita 5, pero en este caso para la salida del controlador con el indicador A/M en M.
7. Coloque en off el botón de encendido.

G. CUESTIONARIO

1. ¿Qué representa el centro de la barra gráfica del panel frontal del controlador?.
2. ¿Puede ser este valor alterado usando los botones pulsadores?.
¿Porqué?.

3. ¿Qué es más preciso, la gráfica de barras o el display alfanumérico? Explique.
4. Bajo ciertas condiciones, la flecha indicadora principal puede titilar en el display del controlador

H. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. BIBLIOGRAFIA

PRATICA No. 2

A. TEMA: PROGRAMACION BASICA DE UN CONTROLADOR BASADO EN MICROPROCESADOR

B. OBJETIVOS

1. Analizar la forma de programación básica del microcontrolador Foxboro 761.
2. Determinar la forma de operación y manejo del diagrama de estructura necesario para la programación del microcontrolador.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte la función de cada una de las cinco teclas del panel del microcontrolador dedicados para la comunicación multifuncional.
2. Determine la secuencia necesaria para realizar la comprobación de todos los segmentos de la pantalla (display test).

D. INFORMACION TEORICA

El panel frontal del microprocesador de Foxboro contiene todos los ajustadores de operación y control: la pantalla alfanumérica, la presentación gráfica y el tablero de teclas.

El tablero de teclas consiste de ocho teclas. Hay tres de estado según sus funciones y los restantes cinco son de comunicación multifuncional.

Si W/P (estación de trabajo/panel de comunicaciones) está configurado dentro del controlador (ejemplo: si cualquiera de los indicadores de estado "W" o "P" está iluminado) es necesario que se encuentre en modo "P". En el modo de estación de trabajo (el indicador W está encendido), el computador hace el control de los instrumentos y ningún botón va a afectar el proceso. Si la función de W/P y/o R/L no fuese configurada dentro del controlador, la presión de algún botón no va a tener efecto y no habrá ninguna iluminación de estado en el display.

El controlador puede operar en uno de estos tres modos de operación: NORMAL, READ, Y SET. Ya que el controlador es un instrumento industrial, los parámetros de configuración asequibles en el modo SET son protegidos con códigos de acceso. Sin embargo, en el modo READ, el valor de varios parámetros del proceso están disponibles para alguna operación de control. Estos valores pueden ser sólo leídos más no modificados por el operador.

Los microcontroladores Foxboro tienen un uso específico, que permite establecer los valores de controladores PID, límites de alarma, límites de control y un grupo de constantes que son asequibles frente al código de acceso, así se reserva un número de teclas cuando se establece el control PID durante los constantes cambios en los ejercicios de laboratorio.

Esto puede ser echo mediante la estructura OPTUNE.

Hay seis parámetros de estructuras los cuales deben ser ascendentes (en el modo SET) para configurar el controlador para nuestros propósitos. La importancia de otros parámetros varía según el experimento.

Tabla 2.1 Parámetros de estructuras de programación.

	MODELO 761
1	CTRL-PRIMARY-TYPE
2	CTRL PRIMARY-ACTION
3	CTRL-PRIMARY-MEAS-FORMAT
4	CTRL-PRIMARY-ACTION
5	CALIB-INPUTS
6	CALIB-OUTPUTS

Posible selección de los parámetros.

- (1) Pi, PID, etc.
- (2) Reverso (INC/DEC) o directo (INC/INC)
- (3) Lineal, raíz cuadrada, etc.
- (4) Lineal, raíz cuadrada, etc.
- (5) Calibración de las entrada (INPUTS)
- (6) Calibración de las salidas (OUTPUTS).

Otra estructura de parámetros utilizada es, la que se indica en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Estructura de parámetros de configuración.

	MODELO 761
1	CONFIG-ALARMS
2	CONFIG-OUT2
3	CONFIG-PRIMARY-DISPLAY
4	ALLTUNE-SHOWOP

- (1) Para configurar las alarmas

- (2) Para configurar la salida auxiliar o salida # 2.
- (3) Para configurar el display, ejemplo, cuando se desea que el controlador de presión muestre los psi en lugar de porcentajes.
- (4) Para configurar los modos, alarmas y límites.

Si las comunicaciones seriales van a ser usadas, es necesario configurar el W/P (FOXBORO 761: CONFIG-W/P) en una dirección y de una velocidad de transmisión en baudios compatibles con el software.

Si un punto de referencia remoto es requerido, por ejemplo en un lazo de cascada será necesario configurar el controlador de acuerdo a CONFIG-CTRL-PRIMARY-SETPT-TYPE-R/L donde estas especificaciones están disponibles usando el botón R/L en el panel frontal.

E. EQUIPO REQUERIDO

- Estación móvil de procesos de presión
- Controlador Foxboro 761 (adjunto a la estación).

F. PROCEDIMIENTO

Nota: En este ejercicio se realizará:

- Selección del algoritmo de control (P, PI, etc).
- Selección de la acción de control (Directa o Reversa).
- Selección del formato de medida (lineal).
- Selección de la función de salida (lineal).
- Configurar las alarmas.
- Hacer que todos los parámetros estén disponibles en OPTUNE.

Por ahora es muy importante familiarizarse con el diagrama de estructura para ser capaz de seleccionar el parámetro deseado.

1. Selecciones el algoritmo de control y la acción

Tabla 2.3 Pasos para la selección del algoritmo de control y la acción

PRESIONE LA TECLA	RESPUESTA EN EL DISPLAY	
	LINEA SUPERIOR	LINEA INFERIOR
TAG		READ?
Flecha abajo		SET?
ACK	SET	OPTUNE?
Flecha abajo	SET	SECURE?
ACK	PASSCODE	=?
ACK, ACK, ACK	SECURE	ALLTUNE?
Flecha abajo	SECURE	SHOWOP?
Flecha abajo	SECURE	CONFIG?
ACK	CONFIG	CTRL?
ACK	CTRL	PRIMARY?
ACK	PRIMARY	DISPLAY?
Flecha abajo		
7 veces	PRIMARY	TYPE?
ACK	TYPE	EXACT?
Flecha arriba/abajo	ACTION	*
ACK	EXACT	NONE?
SEL, SEL	PRIMARY	TYPE?
Flecha abajo	PRIMARY	ACTION?
ACK	ACTION	INC/DEC?
Flecha arriba/abajo	ACTION	*
ACK	PRIMARY	TYPE?

2. Selección del formato de medida.

Ejecutar los pasos indicados en la tabla 2.4, concluidos los de la tabla 2.3. Son una secuencia.

Tabla 2.4 Pasos para la selección del formato de medida

PRESIONE LA TECLA	RESPUESTA DEL DISPLAY	
	LINEA SUPERIOR	LINEA INFERIOR
Flecha arriba		
4 veces	PRIMARY	MEAS?
ACK	MEAS	FORMAT?
ACK	FORMAT	LINEAR?
Flecha arriba/abajo	FORMAT	*
ACK	MEAS	SOURCE?
ACK	SOURCE	A

Use las flechas UP/DOWN para alcanzar el punto deseado.

3. Selección de la función de salida.

Tabla 2.5 Pasos para la selección de la función de salida.

PRESIONE LA TECLA	RESPUESTA DEL DISPLAY	
	LINEA SUPERIOR	LINEA INFERIOR
SEL	MEAS	SOURCE?
SEL	PRIMARY	MEAS?
Tecla abajo		
5 veces	PRIMARY	OUTPUT?
ACK	OUTPUT	FORMAT?
ACK	FORMAT	LINEAR?
Tecla arriba/abajo	FORMAT	*
ACK	OUTPUT	MODIFIER?

4. Configuración de las alarmas

Continuar luego de concluidos los pasos de la tale 2.5, pues se trata de una secuencia que no debe ser alterada en ninguno de los numerales del procedimiento a no ser que se indique lo contrario.

Tabla 2.6 Pasos para configurar las alarmas

PRESIONE LA TECLA	RESPUESTA DEL DISPLAY	
	LINEA SUPERIOR	LINEA INFERIOR
SEL		
3 veces	CONF	CTLR?
Tecla abajo	CONFIG	INPUTS?
Tecla abajo	CONFIG	ALARMS?
ACK	ALARMS	ALARM 1?
ACK	ALARM 1	TYPE?
ACK	TYPE	*
ACK	ALARM 1	ACTION?
ACK	ACTION	**
ACK	ALARM 1	FORM?
ACK	FORM	***
ACK	ALARM 1	ATTACH?
ACK	ATTACH	****
ACK	ALARMS	ALARM 2?
SEL	CONFIG	ALARMS?
Tecla abajo		
10 veces	CONFIG	CO O/PS?
ACK	CO O/PS	CO 1?
ACK	CO 1	*****
ACK	CO O/PS	CO 2?

5. Hacer disponibles los parámetros en el OPTUNE.

PRESIONE LA TECLA	RESPUESTA DEL DIAPLAY	
	LINEA SUPERIOR	LINEA INFERIOR
SEL		
2 veces	SECURE	CONFIG?
Tecla abajo	SECURE	SHOWOP?
ACK	SHOWOP	MODES?
ACK	MODES	*
ACK	SHOWOP	ALARMS?
ACK	ALARMS	*
ACK	SHOWOP	LIMITS?
ACK	LIMITS	*

ACK	SHOWOP	CONSTS?
ACK	CONSTS	*
ACK	SHOWOP	BATCH?
ACK	BATCH	*
ACK	SECURE	CONFIG?

6. Presione TAG para regresar al modo normal. Refiérase al diagrama de estructura básica (Anexo B) y verifique cuales parámetros son disponibles dentro del OPTUNE.
7. Coloque el controlador en apagado y regréselo de nuevo a encendido. Presione TAG siguiendo el diagrama de estructura y confirmar si (o no) todos los parámetros que usted configuró hayan sido mantenidos.
8. Retorne el controlador al modo normal y apáguelo.

G. CUESTIONARIO

1. En Referencia al punto 7 del procedimiento, en caso de haber sido mantenidos los parámetros configurados. ¿Explique porqué no se mantuvieron?
2. ¿Qué sucede con el display gráfico del controlador cuando usted entra al modo de configuración? ¿Permanece el controlador aún en el proceso de control?.
3. ¿Por qué es recomendable establecer los parámetros en CONFIG antes de configurarlos en ALLTUNE?.

H. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. BIBLIOGRAFIA

PRATICA No. 3

A. TEMA: CALIBRACION DE UN TRANSMISOR DE NIVEL

B. OBJETIVO

1. Calibrar el Transmisor de Presión Diferencial para especificar su rango de trabajo.
2. Observar la interacción entre los ajustes de "Cero" y de Expansión, para un rango específico de operación.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte la ecuación para determinar la Presión Hidrostática de una columna de líquido en un tanque, y describa el significado de cada término.
2. Responda a las siguientes preguntas:
 - a. ¿Qué se entiende por Calibración?
 - b. ¿Cuál es la función de un Transmisor de Presión Diferencial en al Estación de Nivel?
 - c. ¿Porqué es necesario realizar la calibración del Transmisor de Nivel, antes de que éste opere en el proceso?
 - d. ¿Cuáles son los niveles estándares para la transmisión de señales de corriente?
3. Consulte los límites de salida necesarios para el Transmisor de Presión Diferencial (P/D)

D. INFORMACION TEORICA

Un Transmisor de Presión diferencial (P/D) mide la diferencia de presión aplicada a través de su elemento de medida. El extremo de baja presión del transmisor se conecta a la fuente de baja presión. El extremo de alta presión del transmisor se conecta a la fuente de alta presión. La presión de una columna de líquido se define por:

$\text{Presión} = \text{Densidad del fluido} \times \text{Altura del fluido} \times \text{Gravedad.}$

La altura del fluido se expresa en pulgadas de agua. Si la densidad del fluido permanece constante, la presión se relaciona directamente con la altura del fluido. Por tanto, una columna de fluido provee un estándar muy útil para calibrar transmisores diferenciales de presión.

Un transmisor de Presión Diferencial tiene dos ajustes que relacionan la señal de salida con la presión diferencial detectada. Estos ajustes son el de cero y el de expansión o rango. El "ajuste de cero" se emplea para llevar el transmisor a su valor de salida de rango inferior con la presión diferencial aplicada en su valor de rango mínimo o inferior.

El "ajuste de expansión o rango" se emplea para llevar el transmisor a su valor de salida de rango superior con la presión diferencial aplicada en su valor de rango máximo o superior. La calibración de un Transmisor de Presión Diferencial corresponde al proceso de equilibrar las salidas de cero y de escala completa del transmisor a las presiones diferenciales aplicadas mínimas y máximas.

El nivel mínimo detectable por el sensor del Transmisor de D/P es determinado de acuerdo a la posición donde éste se conecte, con respecto al tanque de proceso.

El transmisor de P/D debe situarse de modo que el elemento sensor de presión esté a ras con el nivel mínimo de la columna de fluido. Notará en el

módulo que no es posible instalar el transmisor de modo tal que el elemento sensor esté a ras con el fondo del tanque de proceso de nivel. Por tanto debemos familiarizarnos con “Supresión de cero” y “Elevación de Cero” al calibrar un Transmisor de P/D. (esto se analizará en la práctica 6). Para esta práctica se montará el transmisor sobre el estante central del módulo.

E. EQUIPO REQUERIDO

Estación de Proceso de nivel, incluyendo:

1. Convertidor Corriente a Presión (C/P).
2. Controlador basado en Microprocesador (LIC).
3. Transmisor de Presión Diferencial (P/D).
4. Multímetro Digital (DMM).

F. PROCEDIMIENTO

NOTA:

- Para todas las prácticas, usaremos “WC (Water Column – Columna de agua) para designar en pulgadas el nivel de líquido en el tanque de proceso.
 - El convertidor C/P ya viene calibrado así: 4-20mA/3-15psi, por tanto no hace falta calibrarlo para cada práctica, a menos que se detecte alguna anomalía, en cuyo caso se deberá proceder a calibrar según el procedimiento de los folletos entregados por el fabricante.
1. Coloque el Transmisor de Presión Diferencial bajo la repisa central del módulo de trabajo. (La calibración del Transmisor se realizará en la misma estación de nivel).
 2. Calibre el transmisor de presión diferencial como se indica a continuación: 6-26”WC/4-20mA; para esto utilice adecuadamente las llaves manuales que permiten llenar y vaciar el tanque de proceso, de tal forma que, con 6”de agua,

la salida del transmisor sea 4 mA, y para 26" de agua, la salida del Instrumento sea de 20 mA (realice varias veces los ajustes de calibración).

PRECAUCION: No active la bomba por períodos prolongados, estando las llaves cerradas, ya que puede afectar al motor de la bomba.

3. Configure el controlador de la siguiente manera:

- Auto / Manual =
- Manual.

4. Conecte el equipo como se indica en la figura 3.1.

5. Cierre las válvulas V4 y V5. Abra las válvulas V1, V2, V3, V8, V6 y V10. De éste modo se forma el camino cerrado por donde circulará el líquido (al abrir la válvula V5) con la secuencia: tanque de reserva, tanque de proceso, tanque de reserva....

6. Coloque el controlador en manual. Encienda el interruptor de la bomba. Eleve la salida del controlador para abrir la Válvula de Control y llene el tanque de proceso a 15"WC. Cierre la válvula V1 para impedir que el nivel del tanque sobrepase la 15"WC.

7. Deje abierto el extremo de baja presión del Transmisor, para que éste mida la presión atmosférica. Conecte el extremo de alta presión a la válvula V6 para que éste mida la presión de la columna de agua más la presión atmosférica. La diferencia de presiones entre los extremos de alta y baja del transmisor corresponde a la presión que produce la altura de la columna de agua (nivel).

8. Purgue el aire del extremo de alta presión del transmisor de presión diferencial. Coloque un recipiente bajo el desagüe de alta presión y zafe el

tapón hasta que fluya una corriente constante de agua. Apriete el tapón de desagüe.

9. Abra la válvula V5 hasta que el nivel de la columna de agua caiga a 6"WC; gradúe el tornillo de Ajuste de Cero en el transmisor para que el DMM indique 4 mA.

Active la bomba y abra la válvula V1 hasta que el tanque se llene a 26"WC; gradúe el tornillo de Ajuste de Rango o Expansión en el Transmisor para que el DMM indique 20 mA.

10. Repita varias veces las operaciones del paso 9, ya que cualquiera de los ajustes, de cero o de rango afectan ambos valores. Para esto, utilice adecuadamente las válvulas V1 y V5.

11. Llene la tabla 3.1. Si los valores observados no concuerdan con los deseados, repita el proceso de calibración (considerar una relación lineal).

TABLA 3.1: Valores de la práctica para la calibración del Transmisor de Nivel.

ENTRADA	% DEL RANGO	SALIDA DESEADA (mA)	SALIDA OBSERVADA (mA)
	0		
	25		
	50		
	75		
	100		
	75		
	50		
	25		
	0		

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Con los valores de la tabla 3.1 grafique la curva "Entrada Vs. Salida". ¿Se puede decir que la relación es lineal?.
2. ¿Cuál sería el efecto sobre la posición de la calibración, si no hubiese eliminado el aire atrapado en el Transmisor de P/D (al utilizar agua como medio de calibración)?

H. CUESTIONARIO

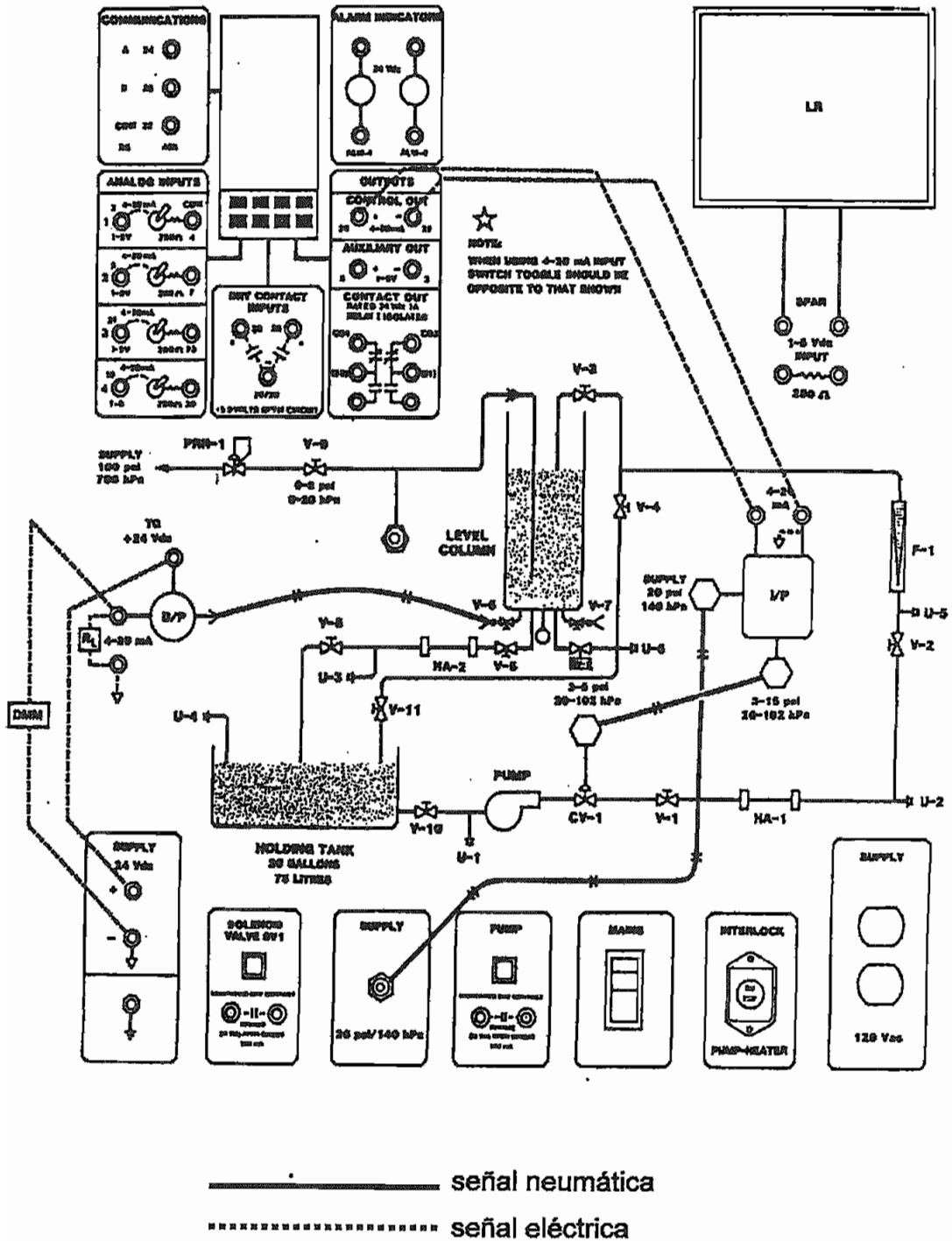
1. Un Transmisor de P/D se calibra con un fluido de una densidad dada y se utiliza para detectar un fluido de menor densidad. Qué efecto se vería en la indicación resultante?.

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE NIVEL

FIGURA 3.1: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA LA CALIBRACION DE UN TRANSMISOR DE NIVEL - DIAGRAMA DE LAZO.



PRACTICA No. 4

A. TEMA : CALIBRACION DEL TRANSMISOR DE PRESION

B. OBJETIVOS:

1. Calibrar el transmisor de presión para los rangos de trabajo especificado.
2. Observar la interacción entre los ajustes más comunes como son el "cero" y la "expansión".

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consultar los métodos de calibración de un transmisor de presión lineal.
2. Analice porque es necesario realizar una calibración previa del transmisor antes de someterlo a condiciones de trabajo.
3. Consultar los límites de salida necesarios para los transmisores de presión.

D. INFORMACION TEORICA.

El transmisor de presión se usa para interpretar la medida de una variable de presión y convertirla a una variable eléctrica proporcional o una salida neumática. Los transmisores de presión disponen de una gran variedad de elementos primarios. La selección de un transmisor se basa en el rango de presiones que van a ser medidas.

Los elementos primarios para la medición de presión se usan para satisfacer varias aplicaciones. Las cápsulas y los fuelles son comúnmente utilizados para bajas presiones. Los tubos de Bourdon se utilizan para

medianas, alta y muy altas presiones. Los diafragmas cubren de bajas a altas presiones; estos algunas veces son utilizados con elementos medidores de deformación para producir salidas eléctricas proporcionales a la medida de presión.

Los transmisores de presión generalmente tienen dos parámetros para ajustar la magnitud de la variable medida en la señal de salida. Estos ajustes son el cero y el rango de expansión. El ajuste del cero es el valor mínimo a la salida del transmisor cuando se aplica una presión mínima. El ajuste de la expansión o el rango es la salida del transmisor a su máximo valor cuando se aplica una presión máxima. Cuando estos dos ajustes han sido establecidos y verificados el transmisor está calibrado.

E. EQUIPO REQUERIDO

- Manómetro de procesos de presión, 3501-MO.
- Banco de calibración, 3550-MO.
- Multímetro digital.

F. PROCEDIMIENTO

1. Retire el transmisor de presión de la Estación de Procesos, se lo calibrará en el banco de calibración para un rango de presiones de 0-80 psi.
2. Coloque el transmisor de presión en el sitio de las tuberías del banco de calibración. Guíese en la figura 4.1.
3. Conecte la manguera plástica desde la entrada de presión del transmisor hasta el puerto del regulador 0-100 psi del banco de calibración como se indica en la figura 1.1.

4. Conecte el multímetro digital y el transmisor a 24Vdc. Observe la polaridad que se muestra en la figura 4.1. El transmisor puede soportar un máximo de 20 mA de corriente. Seleccione n rango apropiado de corriente en el multímetro. Disponga el suministro de potencia a 24 Vdc.
5. Con 0 psi aplicados al transmisor ajuste el cero atornillando sobre el transmisor hasta obtener una lectura en el multímetro de 4 mA.
6. Ajuste la salida del regulador para una presión de 80 psi. Ajuste la expansión o rango atornillando sobre el transmisor hasta obtener una salida de 20 mA.
7. Para ajustar el transmisor y hacer una interacción de 0 al rango de expansión, es necesario que repita el paso 5 y 6 muchas veces, hasta que se encuentre calibrado adecuadamente.
8. Complete la tabla 4.1 de datos de calibración y verifique su calibración para el rango total de presiones de 0-80 psi.
9. Apague el equipo.

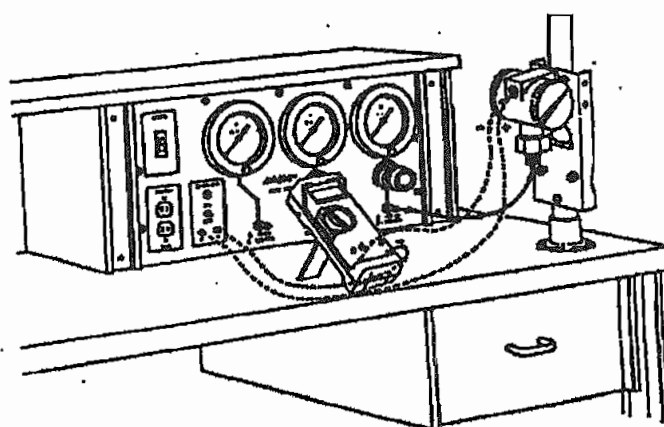


Figura 4.1: Calibración de un transmisor de presión

PRESION (PSI)	0	20	40	60	80
CORRIENTE (mA)					
PRESION (PSI)	80	60	40	20	0
CORRIENTE (mA)					

Tabla 4.1: Datos de calibración

9. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Grafique los resultados obtenidos en el numeral 8 del procedimiento.
2. Verifique las mediciones del punto 8. ¿Son correctos?., se puede decir que la relación es lineal?.

G. CUESTIONARIO

1. ¿Piensa usted que puede ser útil desconectar la entrada del transmisor de presión cuando se determina el cero. Porqué?
2. ¿Podría un instrumento con un margen de precisión de $\pm 2\%$ del rango, ser más o menos preciso que uno con una precisión de $\pm 2\%$ por encima del valor del rango? Por ejemplo un instrumento cuyo rango es de 0 a 200 y con la misma precisión del 2%.
2. ¿Por qué se almacenaron los datos de calibración para señales de entrada incrementales y decrementales?. Como los de la tabla 4.1.
3. ¿Cuál es la limitación principal de un transmisor neumático?

H. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. BIBLIOGRAFIA.

PRACTICA No. 5

A. TEMA: CARACTERISTICAS DEL TIEMPO DE RESPUESTA DEL PROCESO Y DEL TRANSMISOR DE PRESION

B. OBJETIVOS:

1. Determinar la respuesta en el tiempo de un transmisor de presión.
2. Comparar el tiempo de respuesta de un transmisor con el tiempo de respuesta de un procesos de presión.
3. Observar la interacción entre los ajustes más comunes como son el "cero" y la "expansión".

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte la forma de respuesta en el tiempo de un transmisor de presión lineal. Determine los tiempos utilizados en esa respuesta.
2. Analice cual debería ser más rápida, la respuesta en el tiempo del transmisor o la respuesta en el tiempo de proceso, para cambios en las condiciones del proceso.

D. INFORMACION TEORICA

Los transmisores de presión son muy exactos en la medición de presiones en estado estacionario. En muchas aplicaciones, los transmisores de presión deben tener la capacidad de una respuesta rápida y precisa a las condiciones de la dinámica de presión. Es importante conocer que tan rápido responde el transmisor de presión a la dinámica de las condiciones de presión. También

es importante conocer que tan rápido responde a cambios de presión el transmisor.

Esta práctica va a comparar el tiempo de respuesta de un proceso usando un transmisor con el tiempo de respuesta del mismo transmisor. La respuesta del transmisor debe ser más rápida que la respuesta a cambios de todo el proceso o de lo contrario el transmisor podría causar constantes oscilaciones en el proceso creando condiciones de inestabilidad.

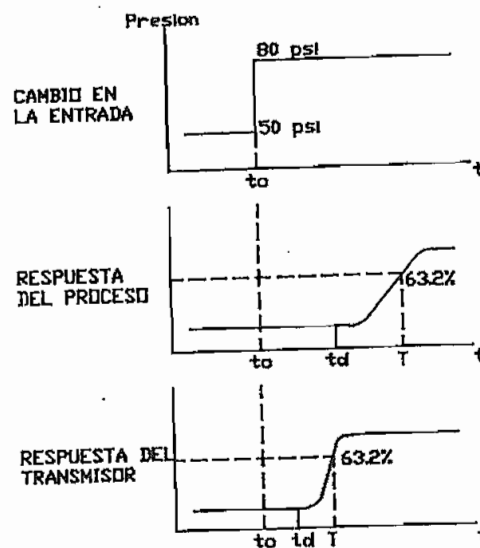


Figura 5.1: Curvas de respuesta del proceso transmisor

Hay tres importantes términos que son usados para caracterizar la reacción del proceso debido a perturbaciones. Esta son, la ganancia del proceso, la constante del tiempo y el tiempo muerto. El efecto de cada uno de estos términos puede ser observado sobre el registro de gráficos, obtenidas del registrador.

E. EQUIPO REQUERIDO

- Transmisor lineal de presión electrónico (TP).
- Registrador de curvas (PR) (1-5Vdc/4-20mA).
- Estación de control de proceso de presión.

F. PROCEDIMIENTO

NOTAS DEL PROCEDIMIENTO

- El procedimiento involucra cambios a escalón para el transmisor de presión desde 50 psi hasta 80 psi. Para el propósito de este experimento se considera instantáneo el cambio del escalón.

 - El proceso y el transmisor va a tomar algún tiempo para responder a cambios al escalón. El proceso incluye cambios en el tanque, en el flujo de aire a través de los tubos y turbinas y en el transmisor. Esta reacción va a ser mayor que el tiempo de respuesta de sólo el transmisor. La figura 5.1 muestra las curvas de respuesta típicas.
1. Calibre el transmisor de presión de 0-80psi/4-20mA.

 2. Coloque y conecte el equipo como en el diagrama de lazo de la figura 5.2. Parte 1.

 3. Mida la respuesta del proceso y del transmisor.
 - a. Coloque el PRR-1 a 50psi y abra totalmente V2.
 - b. Abra V1 para cargar la cápsula del transmisor y encienda el equipo.
 - c. Cierre la válvula V2. Coloque PRR-1 a 80 psi.
 - d. Empiece el registro gráfico abriendo parcialmente V2, detenga el registro cuando el proceso sea estable. Parte 2.

 4. Mida la respuesta sólo del transmisor.
 - a. Coloque el PRR-1 a 50 spi y abra totalmente V2.
 - b. Abra V1 para cargar la cápsula del transmisor y conecte el proceso. Cierre V2 para suspender la carga del proceso.
 - c. Incremente PRR-1 a 80 psi.

- d. Empiece el registro gráfico abriendo parcialmente V2, detenga el registro cuando el proceso sea estable.
5. Compare las dos curvas del registro y observe las diferencias de tiempo.
6. La respuesta del transmisor es más rápida que la respuesta del transmisor y el proceso combinados. Repetir la Parte 1 del proceso con dos tanques en serie, esto introduce al proceso considerables retardos. Restrinja las válvulas V1, V2, V6 y V7 para incrementar el retardo.

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Realice un análisis de las curvas obtenidas en la parte 1 y parte 2 del procedimiento comparándolas entre sí.
2. Qué sucedería si en la parte 1 se utilizan dos tanques en serie, explique.

H. CUESTIONARIO

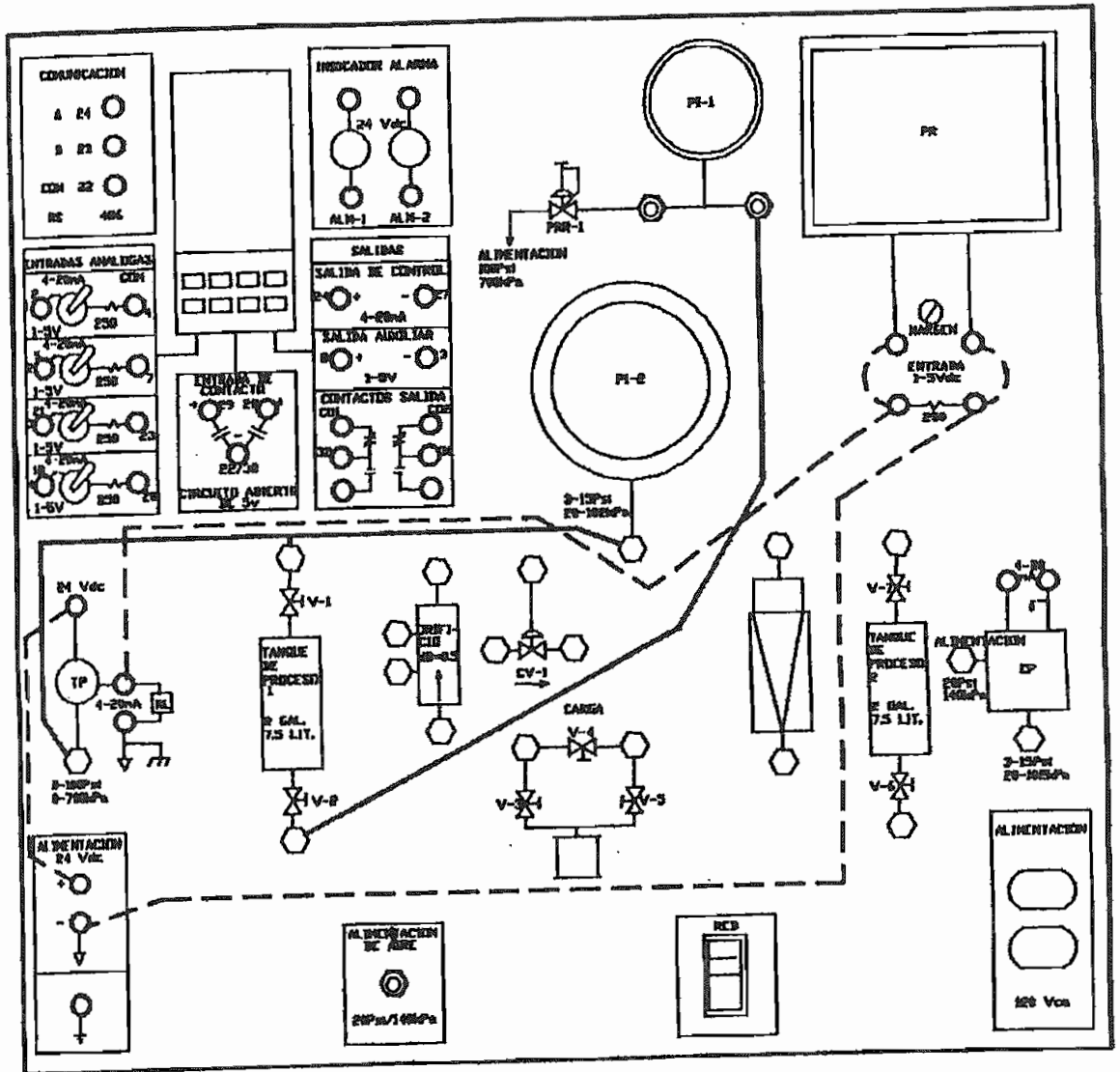
1. ¿Cuándo desearía usted una rápida respuesta del transmisor?
2. Hay muchas explicaciones por las cuales no es deseable que el transmisor responda rápidamente. Explique.
3. Indique el orden (valores) en el que se tiene los tiempos de la constante de tiempo y el tiempo muerto.
4. Explique la importancia del lugar donde usted coloca el transmisor en el proceso.

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE PRESION

FIGURA 5.2: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA LA CALIBRACION DE UN TRANSMISOR DE NIVEL - DIAGRAMA DE LAZO.



PRACTICA No. 6

A. TEMA : CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE PRESION

B. OBJETIVOS:

1. Obtener las características de un proceso de presión para diferentes condiciones del proceso.
2. Determinar las diferencias entre la respuesta del transmisor de presión y la respuesta del proceso al aplicar perturbaciones.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte lo que representa el tiempo muerto y la constante de tiempo en un proceso de control.
2. Explique de que factores depende el tiempo muerto en la respuesta del proceso.

D. INFORMACION TEORICA

Entendiendo como el proceso responde a cambios, es importante para el usuario que calibra los instrumentos usados para controlar el proceso, entender como éste responde a cambios. También es importante conocer que tan rápido la salida medida del instrumento responde a condiciones cambiantes.

Un método fácil para observar las características del proceso es por medio de perturbaciones al proceso y monitorear la reacción en el registrador de curvas.

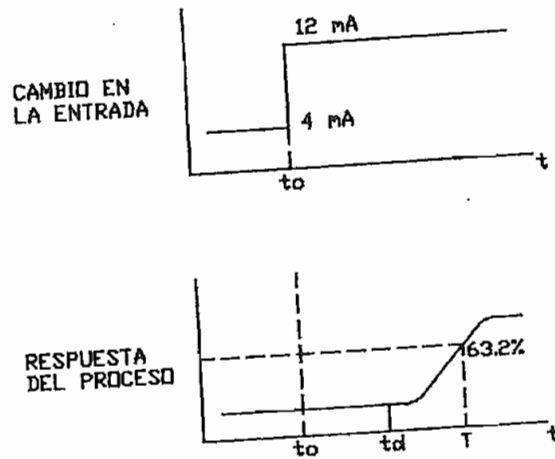


Figura 6.1: Respuesta del proceso a un cambio en la entrada

Donde: t_0 = tiempo inicial

T_d = tiempo muerto

τ = constante de tiempo del proceso

E. EQUIPO REQUERIDO

- Transmisor de presión electrónico (TP)
- Registrador de curvas de papel (PR) (1-5Vdc)/4-20mA).
- Calibrador electrónico
- Estación de control de proceso de presión.

F. PROCEDIMIENTO

NOTAS DEL PROCEDIMIENTO

- El procedimiento involucra un cambio a escalón en el funcionamiento del calibrador (figura 6.1) por medio de rápidos incrementos en las entradas de 4 a 12 mA.

- instantáneo del escalón. Esto es debido a muchos factores, incluyendo el tiempo que éste toma para incrementa la presión de aire y el flujo a través del sistema. El cambio actual del escalón va a ser considerado instantáneo para simplificar cálculos. El cambio a escalón y la reacción del proceso resultante son mostrados en la figura 6.1.

1. Coloque y conecte el equipo como en el diagrama de lazo de la figura 6.2
2. Calibre el transmisor de presión de 0-50psi/4-20mA.
3. Aplique un cambio de 4-12mA en el conversor corriente a presión I/P y coloque el PRR1 a 50 psi/350 kPa. Gire la válvula V3 al 25%. Empiece a registrar la presión.
4. Aplique un escalón del calibrador de 4mA a 12mA al conversor I/P, cuando el proceso se haya estabilizado detenga el registro.
5. Registre el cambio en el proceso de presión y lea en PI2 $P_{inicial}$ y P_{final}
6. Haga los cálculos (ver notas y cálculos)

NOTAS Y CALCULOS

Presión inicial (P_i)

Presión final (P_f)

Cambio de presión $P_c = P_f - P_i$

GANANCIA DEL PROCESO

1. Expresar el cambio de presión (P_c) como un porcentaje de la expansión del transmisor.

$$\frac{P_c}{Expansion} * 100\% = \dots\dots\dots$$

2. Exprese el cambio en la posición del proceso como un porcentaje.

$$\left[\frac{(9\text{ psi} - 3\text{ psi})}{12\text{ psi}} \right] * 100\% = \dots\dots\dots$$

(9 y 3 psi corresponden a 12 y 4 mA respectivamente)

3. Ganancia del proceso = cambio en la salida/Cambio en la entrada.

TIEMPO MUERTO DEL PROCESO (td)

Tiempo muerto del proceso (td) = Diferencia de tiempo entre los puntos cuando la señal de la válvula cambia de 3 a 9 psi y cuando el nivel del proceso empieza a aumentar.

$$T_d = \dots\dots\dots$$

NOTA: La velocidad del registrador es de :

0.42 cm/seg. en rápido

CONSTANTE DE TIEMPO DEL PROCESO (T)

Determine la constante de tiempo del proceso (t) = Al tiempo que toma el proceso en alcanzar el 63.2% del valor del estado estacionario final a partir del gráfico obtenido en el paso 5.

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Realice el cálculo de todos los parámetros solicitados y ubíquelos en la curva de respuesta obtenida del registrador.
2. De las prácticas realizadas determine cual de las dos respuestas debería ser más rápida, la del transmisor de presión o la del proceso. Proqué?

H. CUESTIONARIO

1. ¿Qué sucedería sí en este experimento se conectaran en serie los dos tanques, el proceso va a ser más lento o más rápido? Explique.
2. ¿Qué factores causan que se presente tiempo muerto en el proceso de presión?
3. ¿Porqué el proceso de presión alcanzó un valor de estado estacionario de menos de 50 psi/350 kPa?

I. CONCLUSIIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

PRACTICA No. 7

A. TEMA: MEDICION DE NIVEL USANDO UN SURTIDOR DE BURBUJAS

B. OBJETIVOS

1. Determinar la forma de medición de nivel de líquido utilizando un surtidor de burbujas.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte el principio de funcionamiento de un tubo surtidor de burbujas.

D. INFORMACION TEORICA

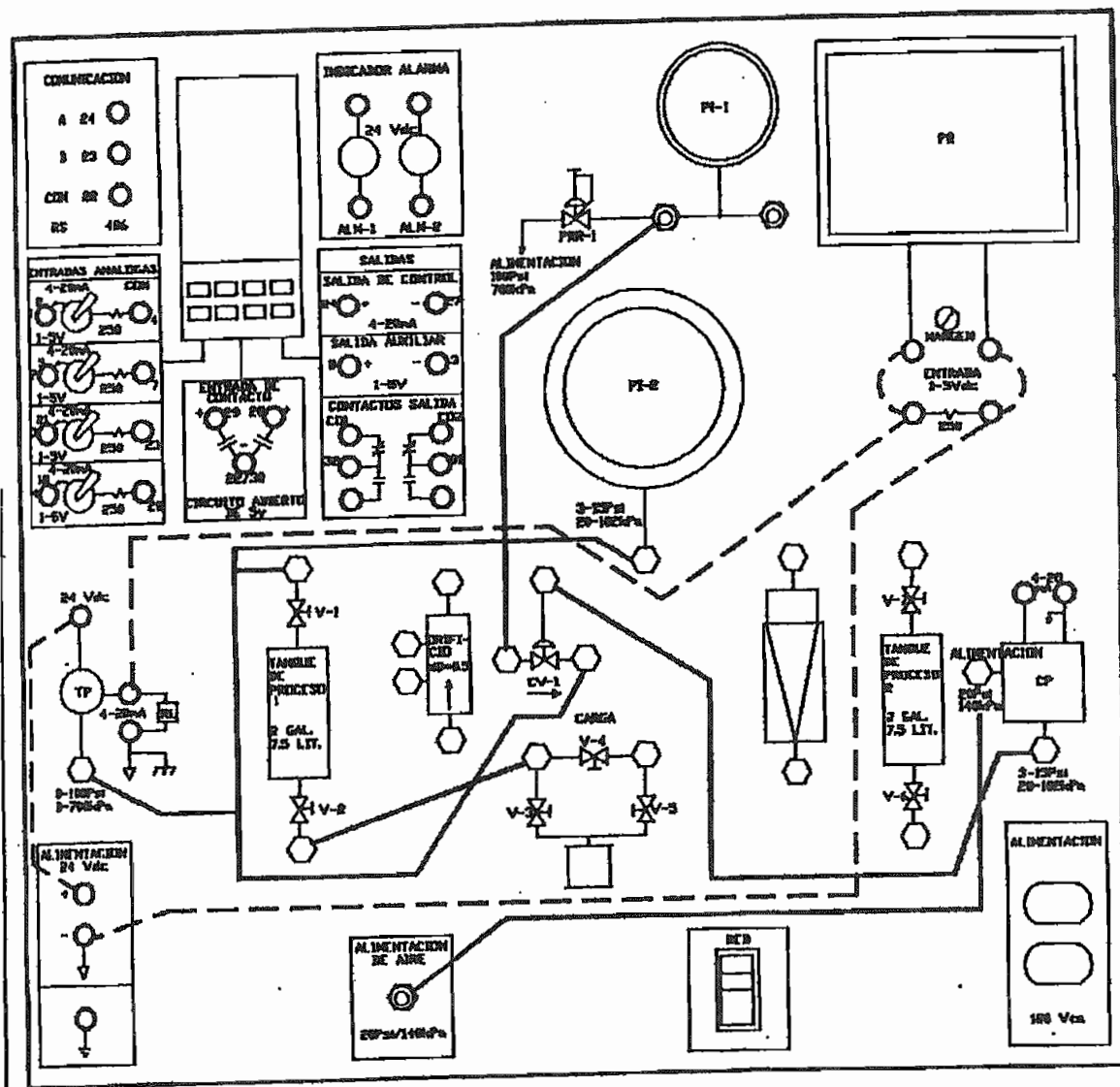
La medición de un nivel en un tanque abierto puede lograrse por medio de un dispositivo denominado "Surtidor de Burbujas", el cual opera según el principio de Presión Hidrostática. Este método de medición de nivel utiliza una tubería llamada tubo de burbujas que se instala en sentido vertical en el tanque con su extremo abierto al nivel cero. El otro extremo del tubo de burbujas se conecta a un medidor de presión y a una fuente de aire regulada. El tanque y el tubo adjunto forman un manómetro de tubo en U.

Dejando tanto el tubo como el tanque abiertos a la presión atmosférica, el líquido busca su propio nivel.

La medición del nivel se hace ajustando el regulador de la fuente de aire para que la presión en el tubo de burbujas sea levemente mayor que la presión hidrostática ejercida en el extremo abierto del tubo por el líquido en el tanque. Esta presión se alcanza ajustando el regulador de presión de aire hasta que se vean burbujas saliendo lentamente del extremo del tubo.

MODULO DE CONTROL DE PRESION

FIGURA 6.2: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA LA CARACTERISTICA DEL PROCESO DE PRESION - DIAGRAMA DE LAZO.



————— señal neumática
 ***** señal eléctrica

El medidor de presión mide entonces la presión del tubo de burbujas requerida para sobrellevar la presión del líquido en el extremo abierto del tubo. El manómetro puede calibrarse en unidades diferentes (como centímetros, pulgadas, o galones para proporcionar un medio más conveniente para el monitoreo del nivel. (Ver figura 7.1).

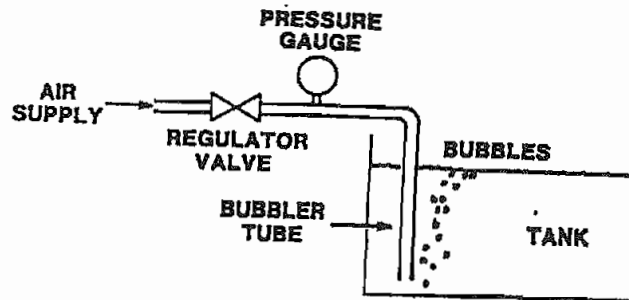


Fig. 7.1 Montaje del surtidor de burbujas en el tanque de proceso

El surtidor de burbujas requiere un flujo de aire mínimo para lograr la condición antes descrita. Se pueden utilizar controladores de flujo de aire para controlar automáticamente la tasa de burbujeo.

E. EQUIPO

Módulo didáctico de Proceso de Nivel, incluyendo:

- Tubo surtidor de burbujas
- Transmisor de presión diferencial (P/D)

F. PROCEDIMIENTO

PRECAUCION: No active la bomba por períodos prolongados, estando las llaves cerradas.

NOTA; Si dispone de un manómetro de 0-30"WC puede usarlo en ésta práctica en lugar del Transmisor P/D. De lo contrario calibre el

Transmisor de Presión Diferencial para 0-30"WC y utilice la salida del transmisor como un indicador de nivel.

1. Calibre el Transmisor de presión diferencial (P/D) como se indica a continuación: 0-30"WC / 4-20 mA.
2. Conecte el equipo como se indica en la figura 7.2.
3. Gradúe el Regulador Reductor de Presión (PRR-1) para tener una indicación del 100% en el Registrador Gráfico. Cierre V9. Active la bomba y lentamente abra V1, suba el nivel del tanque a 28"WC, luego apague la bomba. Cierre las válvulas V5 y V1 para prevenir un efecto sifón".
4. Utilizando V9, lleve la tasa de burbujas aproximadamente a 6 burbujas por minuto (utilizando un reloj). Registre la lectura del Transmisor en la tabla 7.1
5. Use la válvula V5 para reducir el nivel del tanque a 18"WC(45cm), luego cierre V5. Registre la lectura del Transmisor de la tabla 7.1.
6. Reduzca el nivel del tanque a 8"WC(20cm), cierre V5, y registre la lectura del Transmisor en la Tabla 7.1

Tabla 7.1 Valores de la práctica

NIVEL DEL TANQUE	SALIDA DEL P/D	NIVEL INDICADO
28"WC(90cm)		
18"WC(45cm)		
8"WC(20cm)		

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Qué factores determinaron la presión ejercida por la columna de líquido?
2. En base a la tabla 7.1, considera que al utilizar el Transmisor como una indicación de nivel, los valores obtenidos de nivel son correctos?

H. CUESTIONARIO

- 1.Cuál sería el efecto sobre la precisión de la medición del nivel si la temperatura del líquido contenido en el tanque fuese elevada sobre la temperatura a la cual se calibró el sistema de surtidor de burbujas?

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

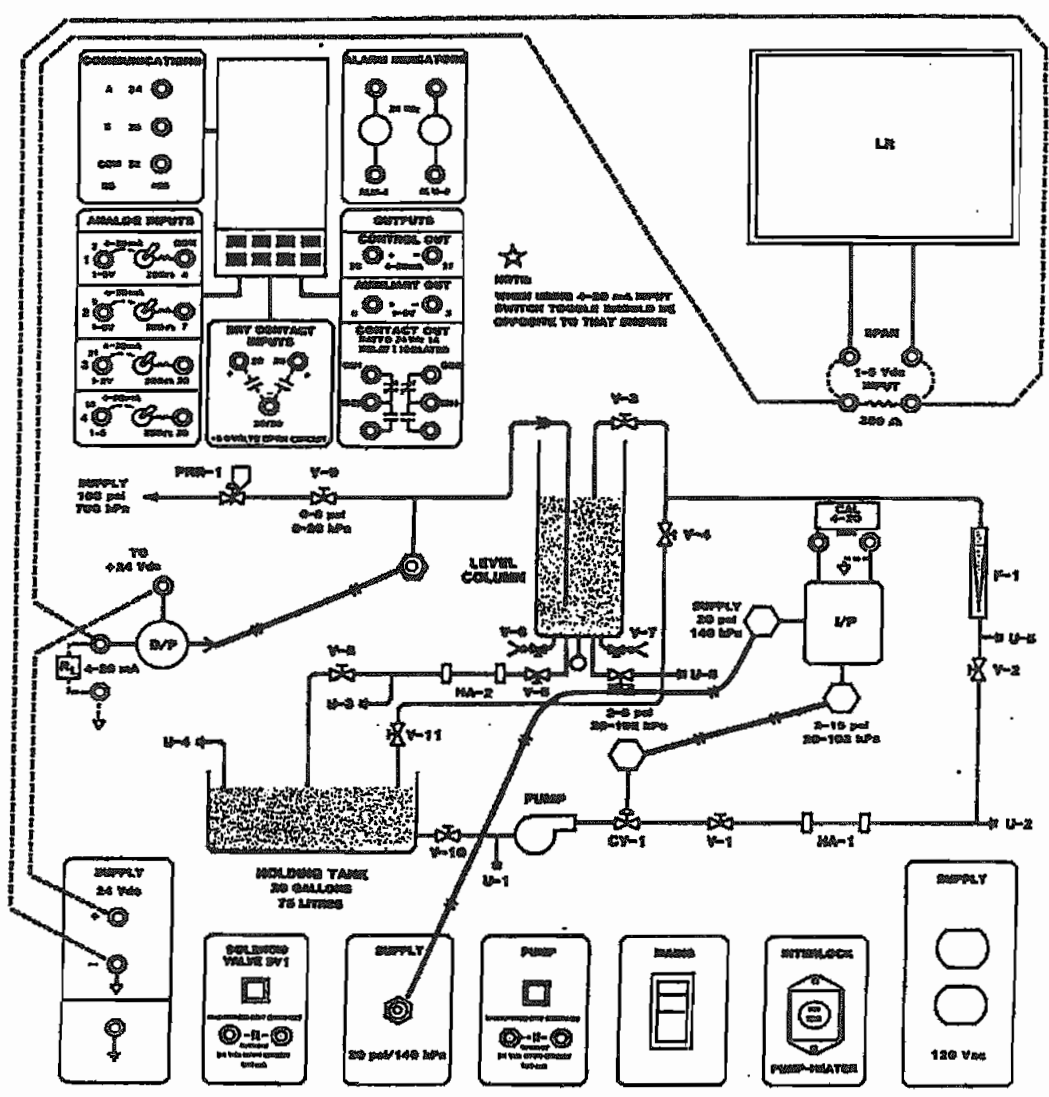
J. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE PRESION

FIGURA 7.1: CONEXION E INSTALACIÓN DEL EQUIPO - DIAGRAMA DE LAZO.

Medición de Nivel usando un surtidor de Burbujas

LOOP DIAGRAM



LEVEL PROCESS STATION

————— señal neumática
 - - - - - señal eléctrica

PRACTICA No. 8

A. TEMA : MEDICION DE NIVEL DE UN TANQUE ABIERTO

B. OBJETIVOS:

1. Realizar una revisión de la calibración en el Transmisor de Presión Diferencial.
2. Medir el nivel de un fluido en un tanque.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Explique en qué se basa el Transmisor de nivel para sensor la presión del Proceso y por tanto para medir el nivel del líquido.

D. INFORMACION TEORICA

Un Transmisor de Presión Diferencial mide la diferencia en la presión aplicada a través de su elemento de medida. El extremo de baja presión del Transmisor Diferencial de Presión se conecta a la fuente de baja presión. El extremo de alta presión del Transmisor se conecta a la fuente de alta presión.

Cuando se utiliza un Transmisor P/D para medir el nivel de un líquido en un tanque, la presión diferencial detectada por el Transmisor se relaciona con el nivel del fluido por la expresión:

Presión = Densidad del fluido x altura del fluido x gravedad.

La altura del fluido se expresa en pulgadas (o en cm.) de agua. Sí la densidad del fluido permanece constante, la presión se relaciona directamente con la altura del fluido.

Para la medición del nivel de líquido en un tanque abierto, el extremo de alta presión del Transmisor P/D se conecta al nivel inferior o de referencia del tanque. El extremo de baja presión del P/D queda abierto a la presión atmosférica. De este modo, la presión atmosférica sobre la columna de agua se ve compensada por una presión igual en el extremo de baja presión del Transmisor.

E. EQUIPO

Módulo didáctico de Proceso de Nivel, incluyendo:

- Calibrador de Presión Diferencial (P/D)
- Calibrador electrónico (de la mesa de calibración).
- Calibrador neumático (de la mesa de calibración).

F. PROCEDIMIENTO

NOTAS:

- Un transmisor P/D puede calibrarse usando tanto presión de agua como de aire. Para asegurar la precisión, se debe llenar completamente el Transmisor con un solo medio (agua o aire). Una mezcla de los dos produce errores de calibración. Si se utiliza aire, el agua que haya atrapada en el cuerpo del transmisor o en las líneas de medida causarán errores debido a su peso. De forma similar, si se utiliza agua, aire en el P/D causa error dada su compresibilidad. Como estamos empleando aire para la calibración, toda el agua debe eliminarse del transmisor.
- En el paso 9, el Transmisor P/D se usará para medir el nivel de líquido en el tanque. Debe llenarse completamente para asegurarse la precisión de la medición, por tanto todo el aire debe purgarse del cuerpo y de las líneas de medida.

PRECAUCION: No active la bomba por períodos prolongados, estando las llaves cerradas.

1. Calibre el transmisor de presión diferencial (P/D), como se indica a continuación: 0-30"WC /4-20mA.
2. Conecte el equipo como se indica en la figura 8.2

PARTE 1:

3. Purgue los extremos de alta y baja presión del transmisor con aire.
4. Verifique que con el calibrador neumático puesto a 0"WC, la salida del Transmisor indique 4 mA.
5. Utilizando el Calibrador Neumático (figura 8.1), aplique en el lado H.P del Transmisor de Presión Diferencial (P/D) las presiones de entrada de calibración que correspondan a los valores en % del rango de la tabla 8.1

NOTA:

El calibrador Neumático tiene un rango de 0-160"WC
(1 PSI = 27.707 "WC).

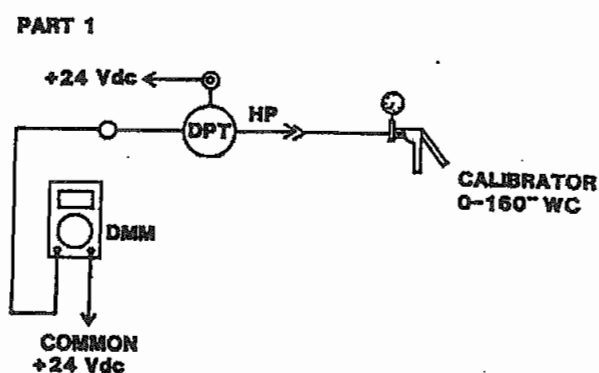


Fig. 8.1 : Conexión del Calibrador para calibrar al DPT (P/D)

6. Registre en la tabla 8.1 los valores de la corriente de salida del Transmisor.

Tabla 8.1 :Valores para la calibración del P/D.

RANGO %	ENTRADA DE CALIBRACION ("WC)	LECTURA DEL TRANSMISOR (mA)
0	0	4
20		
40		
60		
80		
100	30"	20
80		
60		
40		
20		
0		

PARTE 2:

7. Desconecte la tubería y el calibrador neumático. Conecte el Transmisor P/D a la Estación de Proceso de Nivel. (Ver el diagrama de lazo de la fig. 8.2).
8. Para elevar el nivel del tanque del proceso:
- Cierre las válvulas V4 y V5.
 - Active la bomba.
 - Lentamente abra la válvula V1, eleve el nivel del tanque a 10"WC(25 cm. de agua). Apague la bomba, cierre V1.

9. Purgue el extremo de alta presión del Transmisor. Abra la válvula V5 para vaciar el tanque de Proceso.
10. Encienda la bomba, lentamente abra V1 y eleve el nivel de los valores listados en la tabla 8.2. Registre las corrientes de salida del Transmisor en la misma tabla.

Tabla 8.2 Corriente de salida del Transmisor para diferentes valores de nivel del tanque de proceso.

NIVEL DEL TANQUE Pulg.H2O ("WC)	LECTURAS DEL TRANSMISOR (mA)
0	
7	
14	
21	
28	

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. En la medición de nivel de ésta práctica, por qué el lado de baja presión (LP) del Transmisor debe quedar abierto a la presión atmosférica?.

H. CUESTIONARIO

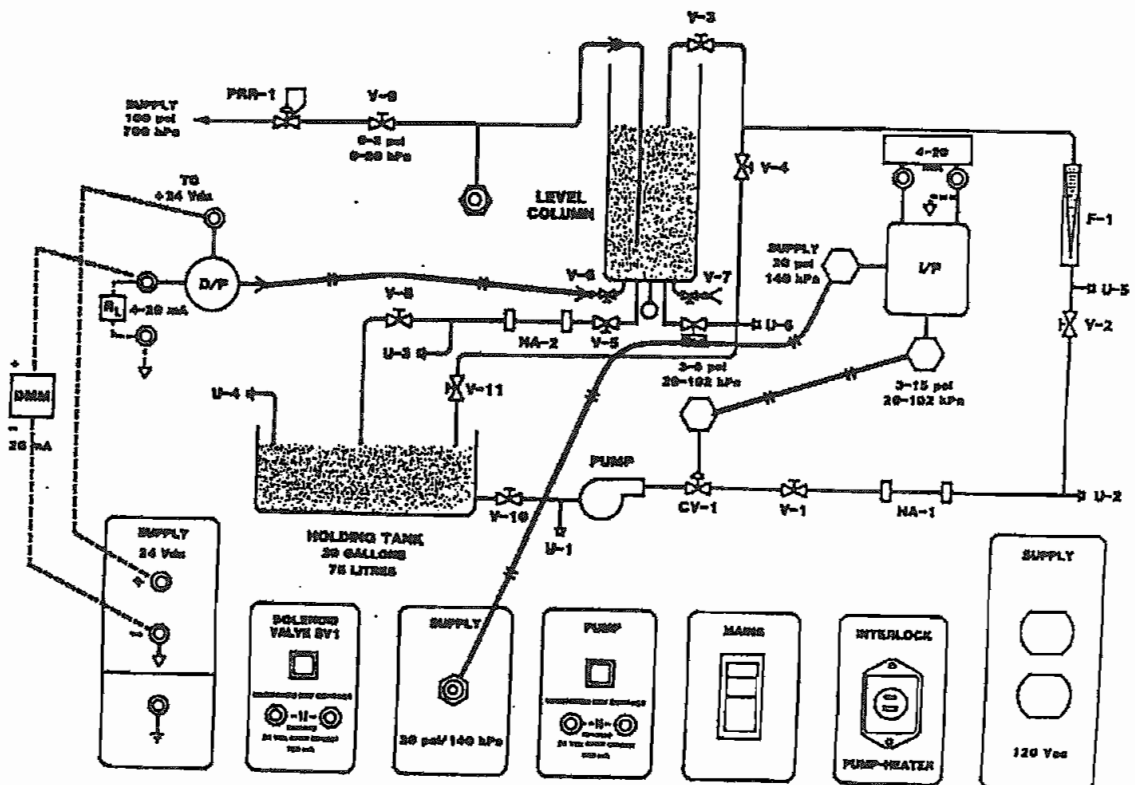
1. Sí el líquido en el tanque se calentara aproximadamente a 100 grado C, las lecturas del Transmisor serían mayores o menores que el nivel real del tanque? Explique.
2. Cuál sería el efecto sobre la precisión del Transmisor P/D si quedara agua atrapada dentro del cuerpo del Transmisor, cuando se utilizara aire como medio de calibración?.

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE NIVEL

FIGURA 8.2: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA LA MEDICION DEL NIVEL DE UN TANQUE ABIERTO - DIAGRAMA DE LAZO.



————— señal neumática
 ----- señal eléctrica

la base de la columna de nivel, se verá que cuando la columna de nivel está vacía, el transmisor seguirá midiendo 12"WC y arrojando por lo tanto una salida de 10.9 mA. Para calibrar apropiadamente el Transmisor, dicho valor debe reducirse a 4 mA. Esto se logra cambiando el ajuste de cero del Transmisor y se denomina "Supresión de Cero", La situación opuesta, donde se monta el Transmisor sobre el valor del nivel más bajo, requiere "Elevación de Cero".

La mayoría de Transmisores P/D son diseñados para operar con un rango con Cero Suprimido. Las especificaciones del fabricante indican la cantidad que el cero puede suprimirse. Para el Transmisor de Nivel (Foxboro 823DP) el cero puede suprimirse hasta un 150% del rango calibrado. Por ejemplo, un rango de 28"WC permitiría suprimir el cero hasta 42"bajo la base de la columna de nivel.

E. EQUIPO

Módulo didáctico de Proceso de Nivel, incluyendo:

- Transmisor de Presión Diferencial (P/D)
- Convertidor de Corriente a Presión (C/P)
- Controlador basado en Microprocesador (LIC)
- Multímetro Digital (DMM)

F. PROCEDIMIENTO

NOTA: En ésta práctica podemos instalar una de las siguientes configuraciones:

- Montar el Transmisor físicamente bajo la repisa central del módulo, en tal caso cualquier rango escogido requiere "Supresión de Cero".

- Dejar el Transmisor montado sobre la repisa central y calibrarlo para un rango donde el nivel mínimo deseado esté sobre el elemento de medida del Transmisor. Esta es la configuración que se aplica en ésta práctica.

PRECAUCION: No active la bomba por períodos prolongados , estando las llaves cerradas.

1. Conecte el equipo como se indica en la figura 9.1
2. Calibre el Transmisor de Presión Diferencial (D/P), como se indica a continuación: 10-20"WC / 4-20 mA.
3. Cierre las válvulas V4 y V8. Se cierra V4 para que el agua pueda ingresar al tanque de proceso, caso contrario se iría por el camino alterno (el cual no involucra a dicho tanque); mientras que se cierra V8 para evitar que el agua salga desde el fondo del tanque de proceso hacia el de reserva.
Abra las válvulas V1, V2, V3, V5 y V10, para que el agua pueda fluir desde el tanque de reserva hacia el tanque de proceso.
Abra la válvula V6, para permitir que el transmisor de P/D sense el nivel de la columna líquida.
4. Configure el controlador en "Manual". Encienda el interruptor de la bomba, Eleve la salida del Controlador para abrir la Válvula de Control y llene el tanque de Proceso a 15"WC. Cierre la válvula V1, para impedir que el agua siga fluyendo desde el tanque de reserva al de proceso.
5. Purgue el aire que puede haber atrapado en el extremo de alta presión del Transmisor de Nivel. Sostenga un recipiente bajo el desagüe y zafe el tapón hasta que circule un flujo constante de agua. Apriete el tapón de desagüe.

6. Revise que el Transmisor de Nivel esté montado de manera que el elemento de medida esté a aproximadamente 5 ½" en la columna de nivel.
7. Abra la válvula V8 y desagüe el líquido hasta 10"WC. Gradúe el ajuste de cero del Transmisor de manera que la salida indique 4 mA en el DMM.
8. Eleve el nivel del tanque a 20"WC y gradúe el ajuste de rango de modo que la salida del Transmisor indique 20 mA en el DMM.
9. Revise ambos valores varias veces, ya que alguno de los ajustes de Cero o de Rango afectarán ambos valores.
10. Complete la tabla 9.1. Si los valores reales no concuerdan con los deseados, repita la calibración.

Tabla 9.1 : Corrientes de salida en el Transmisor de Presión Diferencial, para diferentes valores de entrada.

ENTRADA ("WC)	RANGO %	SALIDA DESEADA (Ma)	SALIDA OBSERVADA (mA)
	0		
	25		
	50		
	75		
	100		
	75		
	50		
	25		
	0		

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Qué determina el mínimo nivel de tanque detectable por el Transmisor de Presión Diferencial?
2. Para el punto 10 del procedimiento, indique sí las mediciones concuerdan con los valores deseados. Se puede decir que existe una relación lineal entre los parámetros de la tabla 9.1? Explique

H. CUESTIONARIO

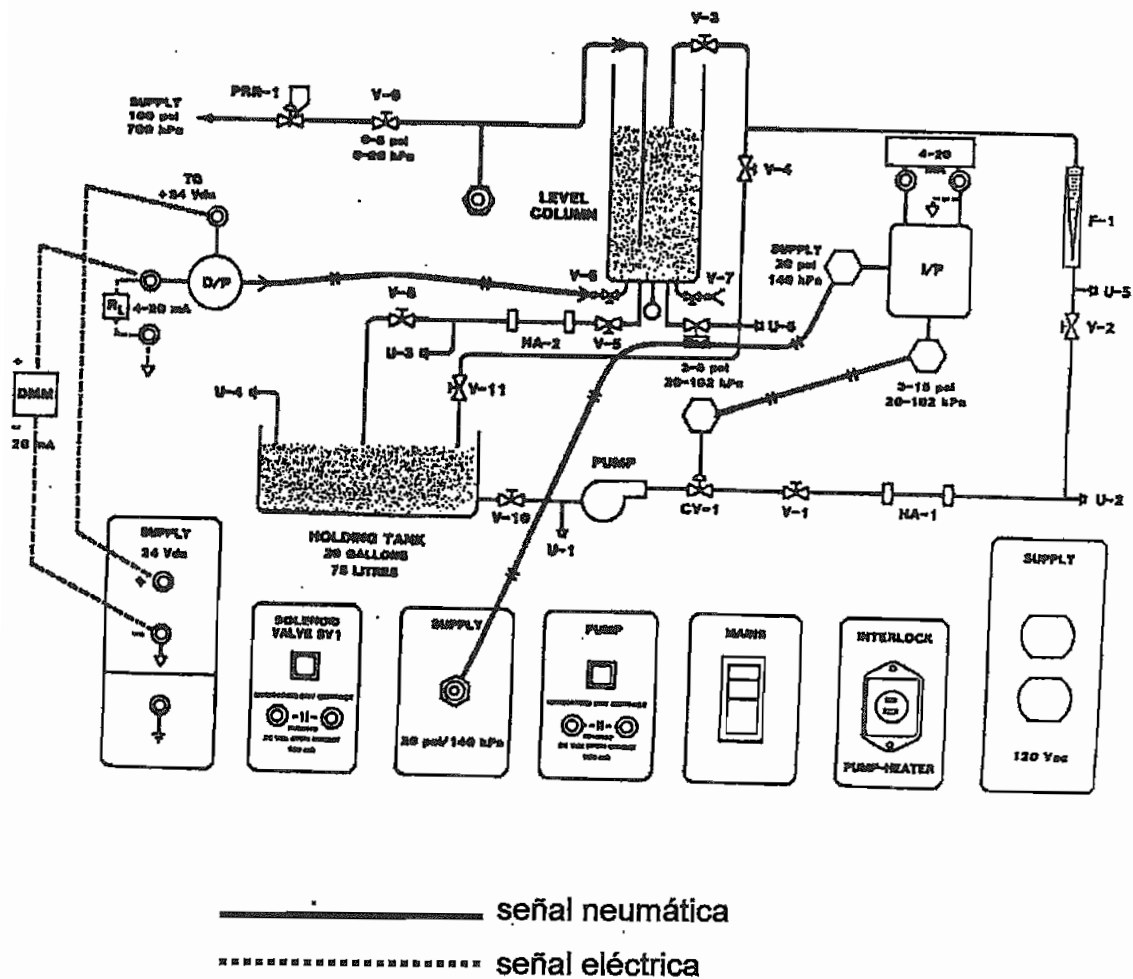
1. Cual es el efecto en las lecturas del Transmisor, sí el centro del elemento de medida no está nivelado con el fondo del tanque? Qué debe hacerse? Explique.
2. En que consiste la Elevación de Cero en el Transmisor de Presión Diferencial del proceso de Nivel?.

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE NIVEL

FIGURA 9.1: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA LA MEDICION DEL NIVEL CONSUPRESION DE CERO - DIAGRAMA DE LAZO.



PRACTICA No. 10

A. TEMA: MEDICION DE LA TEMPERATURA UTILIZANDO UNA TERMOCUPLA J (TERMOPAR J)

B. OBJETIVOS:

1. Identificar las características operativas de una termocupla tipo J utilizada como medidor de temperatura
2. Analizar la salida en milivoltios de la termocupla y relacionarla con una temperatura equivalente.
3. Determinar las fallas en el elemento y los errores más comunes que se pueden cometer al realizar la medición de temperatura con una termocupla.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consultar las tablas de equivalencia de temperatura con respecto a voltaje de un termopar tipo J.
2. Consultar las características generales de los termopares.
3. Cuantos tipos de termocuplas existen, que aplicaciones se les da a cada una de ellos.
4. Cuales son los materiales de los que se hacen las termocuplas, porque características de éstos se los utiliza.

D. INFORMACION TEORICA

Una termocupla, conocida también como acoplador termoeléctrico, es un par de alambres de diferente material unidos por sus extremos. Cuando uno de dichos extremos se calienta produce una corriente continua que fluye por el circuito termoeléctrico.

Si dicho circuito se rompe en un extremo, el voltaje del circuito neto abierto (Voltaje de Seebeck) es función de la temperatura de la junta o unión de la composición de dos metales. Este voltaje es de difícil medición en forma directa debido a que los terminales del voltímetro conectados a la termocupla crean su propia junta y por consecuencia su propio circuito termoeléctrico.

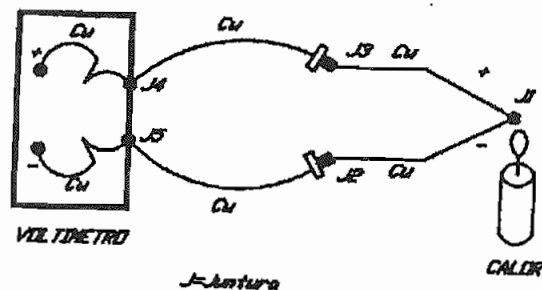


Fig. 10.1: Juntas existentes en un circuito de termocupla

La lectura resultante en el voltímetro será proporcional a la diferencia de temperatura entre J_1 y J_2 . (J es una unión $C_u - C_u$ lo que significa que no crea ninguna f.e.m). Para hallar la temperatura en J_1 , primero debemos hallar su valor en J_2 .

Un medio para ello es mantener esa junta o unión de referencia en una temperatura constante y conocida, tal como unos 0°C .

Las tablas de termocuplas se utilizan para convertir el voltaje medido, en temperatura medida en la junta (J_1). Dichas tablas parten del supuesto caso de que la temperatura en la junta de referencia es 0°C .

Si la junta de referencia (J_2) tiene cualquier otra temperatura, el voltaje medido deberá ajustarse proporcionalmente a esta diferencia de temperatura antes de utilizar las tablas de termocuplas para determinar la temperatura medida. Este ajuste debe referirse a una compensación de la junta de referencia.

E. EQUIPO

1. Módulo didáctico de control de temperatura.
2. Termocupla tipo J.
3. Multímetro digital.
4. Termómetro de 0 a 200°C

F. PROCEDIMIENTO

1. Introduzca la termocupla y el termómetro dentro del horno (asegúrese de que el termómetro y la termocupla estén juntos de tal manera que no existan errores en la medición).
2. Coloque el interruptor del control del termostato local en la posición accionamiento externo.
3. Gire el selector de control del horno a su máxima posición.
4. Forme una junta de referencia con los cables de la termocupla J y los del Multímetro digital, conforme se indica en el diagrama de la figura 10.2.
5. Conecte la junta de referencia y la termocupla al voltímetro.
6. Instale la junta de referencia cerca del horno. Coloque el termómetro en contacto con la junta de referencia para medir la temperatura de dicha junta.

7. Inserte el termómetro nuevamente en el horno.
8. Registre las temperaturas de la junta de referencia y los voltajes de salida en la tabla 10.1
9. Cuando la temperatura alcance los 150°C coloque el interruptor de control del termostato local en la posición driver y apague el horno.
10. Registre las temperaturas descendentes desde 150°C a 50°C junto con los voltajes de salida de la termocupla en la tabla 10.1
11. Desconecte todos los elementos utilizados y vuelva todos los voltajes a cero.

Tabla 10.1 Tabla de respuesta de la termocupla

TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA DE LA JUNTA DE REFERENCIA (°C)	SALIDA DE LA TERMOCUPLA (mV)
50		
75		
100		
125		
150		
125		
100		
75		
50		

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Realice una comparación entre los resultados obtenidos en la sesión de laboratorio y las tablas de referencia de la termocupla tipo J. Comente.
2. Utilizando papel milimetrado, trace la curva de la termocupla utilizada en el experimento.

3. Utilizando los datos de la tabla 10.1 realice los cálculos del error que se ha producido por la diferencia de temperatura en la junta de referencia. Comente sobre las diferencias.

H. CUESTIONARIO

1. Por qué razón la termocupa y el termómetro deben estar juntos dentro del horno.
2. Por qué razón al graficarse la curva de temperatura de la termocupa se presenta histéresis.
- 3.Cuál es la necesidad de que exista una temperatura de compensación en la junta de referencia.
4. A qué es proporcional el voltaje de salida de la termocupa.
5. Que dice la ley de las temperaturas intermedias.
6. Si la medición de la temperatura en la junta J se mantiene constante, que efecto produce un incremento de la temperatura en la junta de referencia sobre los milivoltios de salida del circuito de termocupa.
7. El voltaje de salida de la termocupa puede calcularse también, si se conocen las potencias termoeléctricas de los cables utilizados. Pro qué esto no es verdad en la práctica?

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

PRACTICA No. 11

A. TEMA : MEDICION DE TEMPERATURA UTILIZANDO UN RTD

B. OBJETIVOS:

1. Identificar las características operativas de un RTD utilizado como medidor de temperatura
2. Determinar los procedimientos más comunes que se utilizan para convertir las lecturas de un RTD en una temperatura equivalente.
3. Identificar las fallas y los errores más comunes que pueden producirse al realizar una medición de temperatura con el RTD

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consultar las características generales de los termómetros de resistencias.
2. Consultar cuantos tipos de termómetros de resistencia existen, de que materiales están contruidos, cuales son las aplicaciones prácticas que se les da a cada uno de ellos.
3. Consultar las ecuaciones que determinan la operación de los RTD y sus curvas características.
4. Consultar las tablas que indican los valores de resistencia en función de la temperatura de los RTD, especialmente de un RTD Pt 100.

D. INFORMACION TEORICA

El detector termométrico de resistencias (RTD) depende de las características de resistencia en función de la temperatura propias de cada uno de ellos.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo conductor muy fino bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado "coeficiente de temperatura de resistencias" que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

El RTD utilizado en este experimento es un Pt 100. Su funcionamiento se basa en la característica inherente de los metales a cambiar su resistencia eléctrica cuando sobreviene un cambio de temperatura. Si la temperatura aumenta, la resistencia de un RTD se incrementará.

Aunque casi todos los metales exhiben estas características, los RTD más comunes se fabrican en platino, níquel o aleaciones de níquel. El RTD de níquel es menos costoso que el de platino, y el níquel es útil aún con un rango más limitado de temperatura, es completamente a lineal y se degrada con el tiempo. El cable de platino es más utilizado ya que soporta altas temperaturas, y es muy estable. Como metal noble, el platino es de una susceptibilidad limitada a la contaminación. La respuesta del RTD de platino es muy lineal sobre un amplio rango de temperatura aplicada.

El coeficiente de temperatura de la resistencia es una medida de la magnitud del cambio de resistencia en un RTD sobre un cambio dado de temperatura, con respecto a su resistencia sobre una temperatura de referencia. Al igual que en la termocupla la temperatura de referencia se supone de 0°C. A esta temperatura la resistencia de un RTD de platino (Pt100) será de 100 Ω . El coeficiente de temperatura de la resistencia es la fracción de cambio en la

resistencia por cada cambio de temperatura , a partir de la temperatura de referencia.

E. EQUIPO REQUERIDO

1. Módulo didáctico de control de temperatura.
2. Detector de temperatura de resistencias (RTD).
3. Multímetro digital.
4. Termómetro con rango de 0 a 200°C.

F. PROCEDIMIENTO

1. Inserte el RTD en el horno (vaina detectora conectada al transmisor azul TT1).
2. Inserte el termómetro en el horno.
3. Conecte el terminal rojo del RTD al terminal positivo del Multímetro digital refiérase a la figura 11.1
4. Conecte el terminal negro del RTD al terminal negativo de el Multímetro refiérase a la figura 11.1
5. Coloque el switch de control del termostato local en la posición de accionador externo, gire el selector del horno a su posición máxima.
6. A medida que la temperatura vaya aumentando, registre los valores de la resistencia del RTD en la tabla 11.1.
7. Cuando la temperatura del honro llegue a los 150°C apague el horno y desconecte la estación.

8. A medida que la temperatura baja desde los 150°C hasta los 50°C registre los valores de resistencia del RTD en la tabla 11.1
9. Desconecte y retire todos los elementos de la estación y vuelva todos los voltajes a cero.

Tabla 11.1 Tabla de respuesta del RTD

TEMPERATURA (°C)	RESISTENCIA Ω	TEMPERATURA EQUIVALENTE DEL RTD °C
50		
75		
100		
125		
150		
125		
100		
75		
50		

G. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Con los datos obtenidos en la tabla 11.1. Encontrar la temperatura equivalente al valor de resistencia del RTD Pt 100 utilizando las tablas de equivalencias.
2. Utilizando los datos de la tabla 11.1. Calcular los valores de temperatura equivalentes al valor de resistencia de la salida del RTD. Utilice las fórmulas de los PT 100 con y sin linealidad.
3. Usando papel milimetrado y los resultados de los puntos anteriores trace las curvas de resistencia en función de la temperatura para el RTD.

H. CUESTIONARIO

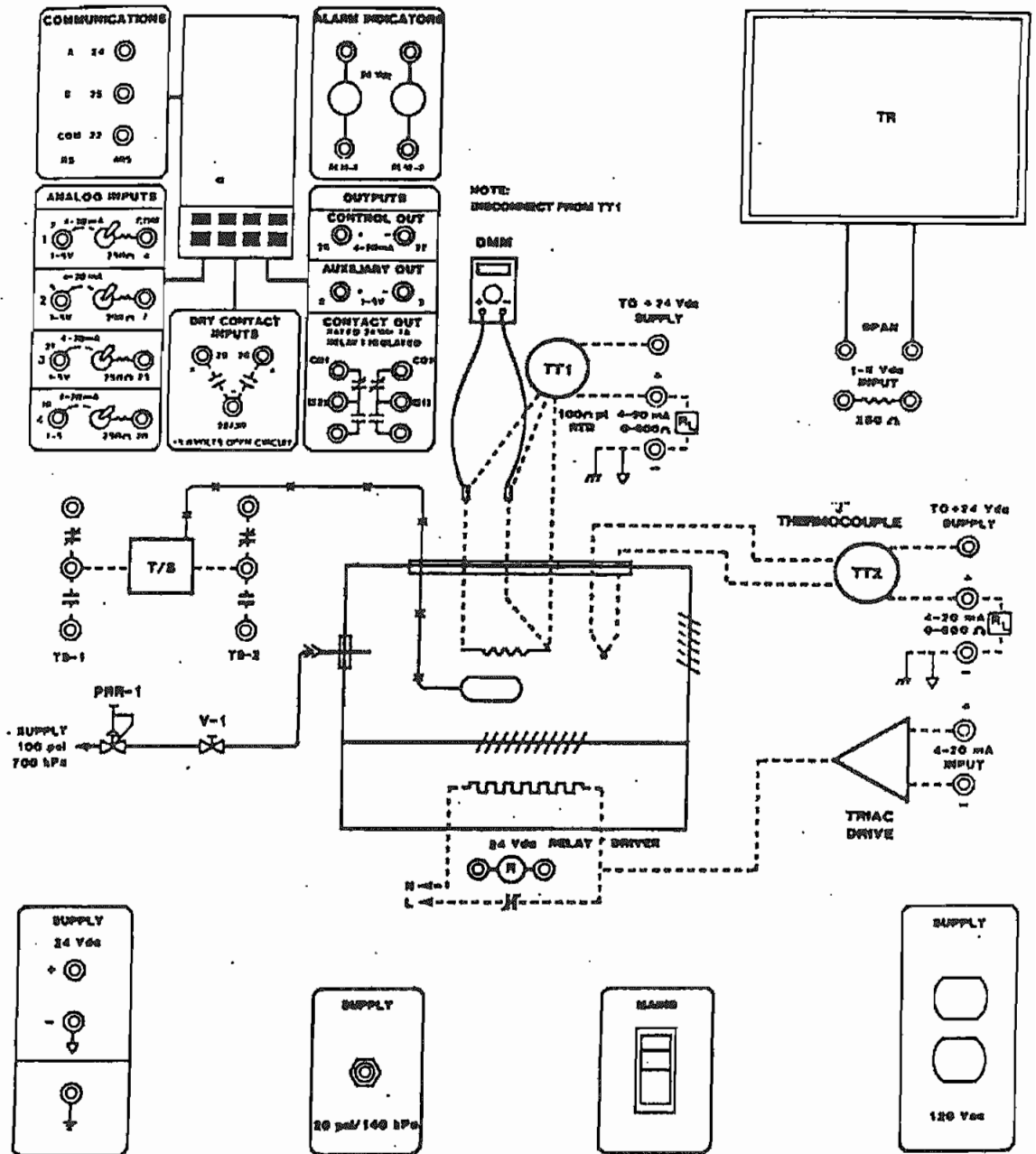
1. Qué es el coeficiente de temperatura. Cómo se puede determinar.
2. Enumere las diferencias entre el RTD y la termocupla.
3. Haga una comparación entre la linealidad entre la termocupla y el RTD.
4. Enumere las ventajas y desventajas de los RTD y las termocuplas.
5. Sin complicar las mediciones del circuito utilizado, cómo se corrige el error introducido por la larga extensión de los terminales?
6. Si la temperatura crece, la resistencia en el RTD crece o disminuye?
7. A qué temperatura está la resistencia del RTD usado en el experimento cuando este marca 100 .

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE NIVEL

FIGURA 11.1: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA LA MEDICION DE TEMPERATURA UTILIZANDO UN RTD - DIAGRAMA DE LAZO.



————— señal neumática
 señal eléctrica

PRACTICA No. 12

A. TEMA: CONTROL PROPORCIONAL DE UN PROCESO DE FLUJO

B. OBJETIVOS

1. Analizar los efectos que demandan los cambios en el punto de referencia de un control proporcional en un proceso de flujo.
2. Verificar la influencia de la banda proporcional con respecto al error de offset y la estabilidad.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Anote la ecuación de respuesta en función del error, de un control proporcional.
2. Consulte dos formas de aumentar la estabilidad en un controlador proporcional.

D. INFORMACION TEORICA

Es importante para el individuo que debe calibrar los instrumentos usados para controlar el proceso, entender como el proceso responde a cambios. Un método fácil para observar como se afectan las características de ajuste del controlador de un proceso, es provocando perturbaciones en el proceso y monitoreando la reacción en un registrador de velocidad.

El punto de referencia es escogido representando el valor deseado de la variable controlada. Las entradas del controlador resultan de la medida de la variable controlada y determinan una salida para el elemento de control final, de acuerdo con la magnitud de la desviación desde el punto de referencia y

como el operador haya establecido el instrumento. El resultado de las diferentes referencias puede ser observado en el registrador gráfico.

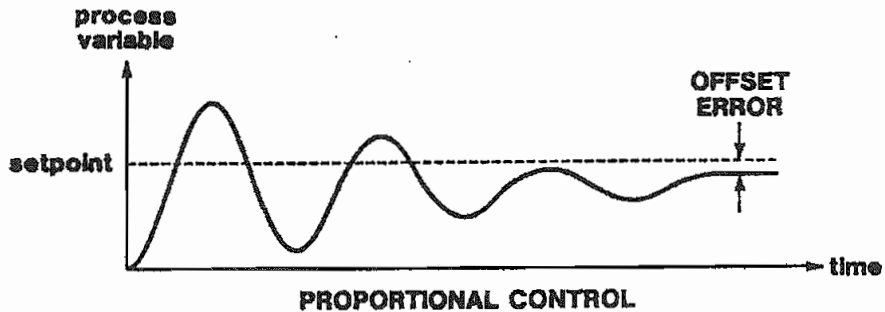


Fig. 12.1 Respuesta en el tiempo del modo de control proporcional.

La función principal de un controlador proporcional, es mantener el proceso dentro de una banda específica de puntos de control. La misma que es proporcional a una relación lineal de salida entrada.

$$\text{Banda proporcional} = \frac{\% \text{ Cambio de la entrada}}{\% \text{ Cambio en la salida}} * 100\%$$

La ganancia es la razón de salida a entrada de cualquier sección de un sistema controlado y esta inversamente relacionado con la banda proporcional.

Con una ganancia baja, se requiere de un gran cambio en la señal de entrada para causar un cambio en la salida desde 0 – 100%. Dentro de la banda proporcional, la salida del controlador es proporcional a la entrada de la señal y el factor de ganancia determina la relación proporcional. La magnitud del error de offset se relaciona directamente a la banda proporcional. La alta ganancia da como resultado un error de offset reducido pero incrementa la estabilidad.

E. EQUIPO REQUERIDO

- Módulo didáctico de Control de Flujo
- Controlador Foxboro 761
- Transmisor de Presión Diferencial (FT)
- Registrador de curvas (FR)
- Medidor de flujo de área variable (FI)
- Elemento de flujo Venturi (FE)

F. PROCEDIMIENTO

Nota: No arranque la bomba por períodos prolongados con el proceso apagado.

1. Coloque y conecte el equipo como en el diagrama de lazo.
2. Verifique que V1, V2, V3, V4, V5, V7 estén abiertas y que V6 este cerrada, para que la circulación del fluido sea normal. Coloque el controlador de la bomba en manual, incremente el flujo hasta que exista suficiente presión para drenar el aire existente en el terminal de alta presión (HP) y el de baja presión (LP) del transmisor de flujo. Coloque el controlador de la bomba en señal de manejo.
3. Configure el controlador con los siguientes datos de instrumentación.
 - Auto/Manual = Manual
 - Punto de referencia = 50%
 - Modo P (sólo proporcional)
 - Mediciones: Format = SQR (raíz cuadrada)
 - Out 2 = A
 - $P'(0) = 50\%$ (BIAS)

- Ganancia = 1 (PF = 100%). Usando el ajuste manual, coloque la salida de la bomba al 50%.
4. Manualmente ajuste la salida hasta que la variable medida sea igual al punto de referencia y BP = 50%.
 5. Comience el registro y coloque el controlador en automático.
 6. Registre los efectos en la respuesta del controlador, al variar el punto de referencia (Set-Point), para lo cual:
 - a. Ajuste la ganancia a 1 (100% de banda proporcional).
 - b. Decremento rápidamente el punto de referencia al 30%.
 - c. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
 - d. Ajuste el punto de referencia al 50% y permita que el proceso se estabilice.
 7. Decremento la ganancia proporcional y verifique la respuesta del controlador, al variar el Set-Point.
 - a. Ajuste la ganancia a 0,5 (200% BP).
 - b. Comience el registro.
 - c. Rápidamente decremente el punto de referencia al 30%.
 - d. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
 - e. Ajuste el punto de referencia al 50% y deje que el sistema se estabilice.
 8. Incremente la ganancia proporcional, y verifique la respuesta del controlador al variar el Set-Point.
 - a. Ajuste la ganancia a 1,25 (80% BP)
 - b. Comience el registro
 - c. Rápidamente decremente el punto de referencia al 30%.

- d. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
- e. Apague la bomba.

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Describa la respuesta del controlador obtenida en el registro para el paso 6 del procedimiento. Realícelo en términos de error de offset y la estabilidad.
2. Para el efecto del decremento en la ganancia, en respuesta al cambio del punto de referencia (paso 7) describa la forma de respuesta obtenida en el registrador de curvas, en términos de error de offset y estabilidad. Compare con el paso anterior.
3. Para el efecto del incremento en la ganancia, en respuesta al cambio del punto de referencia (paso 8) describa la forma de respuesta obtenida en el registrador de curvas, en términos de error de offset y estabilidad. Compare con el punto 1.

H. CUESTIONARIO

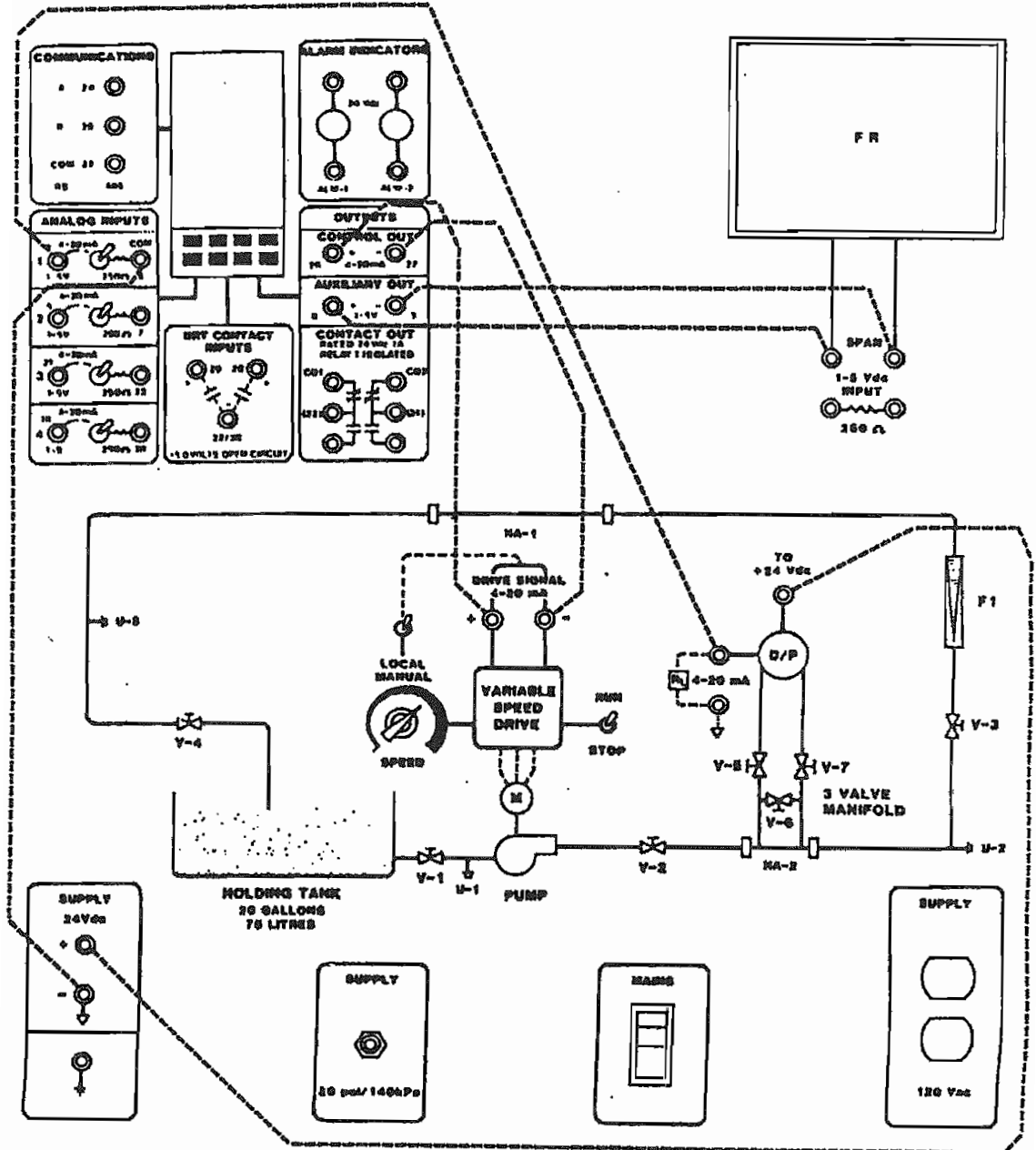
1. ¿Qué efectos sobre el error de offset y la estabilidad tiene el uso de una ganancia baja en el controlador?
2. Después de cambiar el punto de referencia en el proceso, ¿cómo podría eliminarse el error de offset en el proceso?
3. Usted desearía tener, una banda proporcional grande o un error de offset pequeño? Explique.

I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE FLUJO

FIGURA 12.2: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA EL CONTROL PROPORCIONAL DE UN PROCESO DE FLUJO - DIAGRAMA DE LAZO.



————— señal neumática
 señal eléctrica

PRACTICA No. 13

A. TEMA: CONTROL PROPORCIONAL E INTEGRAL APLICADO A UN PROCESO DE PRESION

B. OBJETIVOS

1. Analizar la curva de respuesta de un modo de control proporcional – integral para un proceso de presión.
2. Analizar los efectos de cambiar el valor de la banda proporcional en este controlador al aplicarlo a un proceso de presión.
3. Analizar los efectos de un cambio en el tiempo integral en este tipo de control para un proceso de presión.
4. Analizar los efectos de las variaciones en el set-point sobre la propuesta del proceso de presión.

B. TRABAJO PREPARATORIO

1. Anote la expresión matemática que define a un controlador proporcional-integral, analice sus componentes.
2. Grafique la curva de respuesta al error de un modo de control P-I y analícela.
3. Consulte las principales ventajas de un control P-I respecto de modo sólo proporcional.

C. INFORMACION TEORICA

Entender como un proceso controlado responde a perturbaciones, es importante para el individuo que debe calibrar el instrumento usado en un proceso de control.

La adición de la acción integral, algunas veces llamada la acción RESET, elimina el error offset existente en el controlador proporcional. La ventaja primordial en el modo de control integral, es que la salida del controlador continua reponiendo el elemento de control final antes de que se reduzca el error a cero, dentro de las limitaciones del sistema.

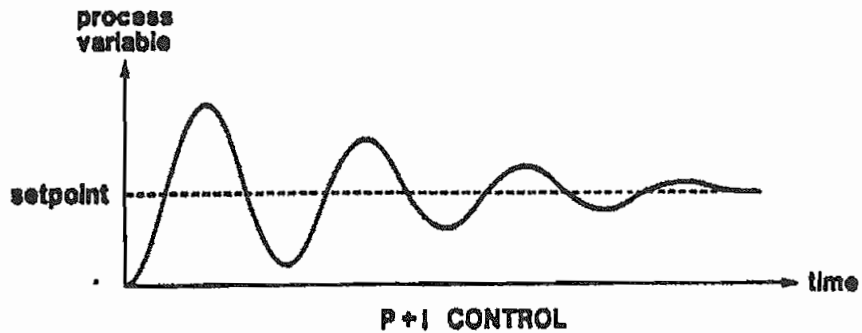


Fig. 13.1 Control proporcional-integral

La mayor desventaja del modo de control integral es que la salida del controlador no es directamente inmediata al elemento de control final para una señal de error en una nueva posición.

La adición de la acción integral al control proporcional automático funciona estableciendo la ganancia que fue manualmente lograda. Por esta razón, los controladores proporcionales-integrales son algunas veces referenciales como proporcionales automáticos reajustados o simplemente controladores proporcionales reajustados.

Establecer una alta ganancia proporcional da como resultado un incremento en la inestabilidad. Un incremento en el tiempo integral va a causar que el proceso se estabilice rápido al valor del set point, pero también produce inestabilidad si se ajusta muy alto este valor.

D. EQUIPO REQUERIDO

- Módulo didáctico de procesos de presión.
- Controlador Foxboro 761.
- Transmisor de presión electrónico (TP) .
- Registrador de curvas de papel (PR) (1-5Vdc/4-20mA).
- Transductor de corriente a presión I/P(4-20mA/3-15psi).

E. PROCEDIMIENTO

1. Configure el controlador en :

- Automático/Manual = Manual
- Set point = 50%
- Modo = PI
- Ganancia = 1 (PF = BP = 100%)
- Tiempo integral = 0.1 min/rep.
- Acción = Reverso (INC/DEC).

2. Coloque y conecte el equipo como en el diagrama de lazo de la figura 13.2

3. Calibre el transmisor de presión de 0-100psi/4-20mA

4. Coloque el controlador en el modo manual.

5. Obstruya el orificio entre las válvulas V3 y V4, abra totalmente V4, cierre V5 y parcialmente abra V3 para introducir carga al proceso. Las válvulas V1 y V2 deben estar parcialmente abiertas.
6. Manualmente ajuste la salida del controlador hasta que la variable medida sea igual al set point. Inicie el registro.
7. Coloque el controlador en automático.
8. Registro de la respuesta para cambio de carga en el proceso, para esto:
 - a. Abra parcialmente la válvula V5.
 - b. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
 - c. Cierre la válvula V5 y deje que el proceso se estabilice.
9. Registro de la respuesta para el incremento de la ganancia para diferentes cargas.
 - a. Incremente la banda proporcional $PF = 120\%$.
 - b. Comience el registro.
 - c. Repita los pasos 8 (a, b y c).
10. Registro de la respuesta para el incremento de la acción integral para diferentes cargas.
 - a. Coloque el tiempo integral $IF = 0.2 \text{ min/rep.}$
 - b. Comience el registro.
 - c. Repita los pasos 8 (a, b y c).
11. Registro de la respuesta para la ganancia original y la acción integral para cambios del punto de referencia.

- a. Ajuste la ganancia a 1 ($PF = 100\%$) y reajuste a 10 rep/min ($IF = 0.1$ min/rep).
- b. Comience el registro y rápidamente decremente el set-point al 20%.
- c. Detenga el registro cuando el proceso se estabilice.
- d. Ajuste el set-point al 50%, permita que el proceso se estabilice.

12. Registro de la respuesta para el cambio de la ganancia proporcional.

- a. Ajuste la banda proporcional $PF = 120\%$
- b. Repita los pasos 11 (b, c y d).

13. Registro de la respuesta para el cambio de la acción integral.

- a. Ajuste el tiempo integral $IF = 0.2$ min/rep.
- b. Repita los pasos 11 (b, c y d)

F. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Para el paso 8, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
2. Para el paso 9, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
3. Para el paso 10, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
4. Para el paso 11, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.
5. Para el paso 12, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.

6. Para el paso 13, describa la forma de respuesta en el registro en términos del error offset y la estabilidad.

G. CUESTIONARIO

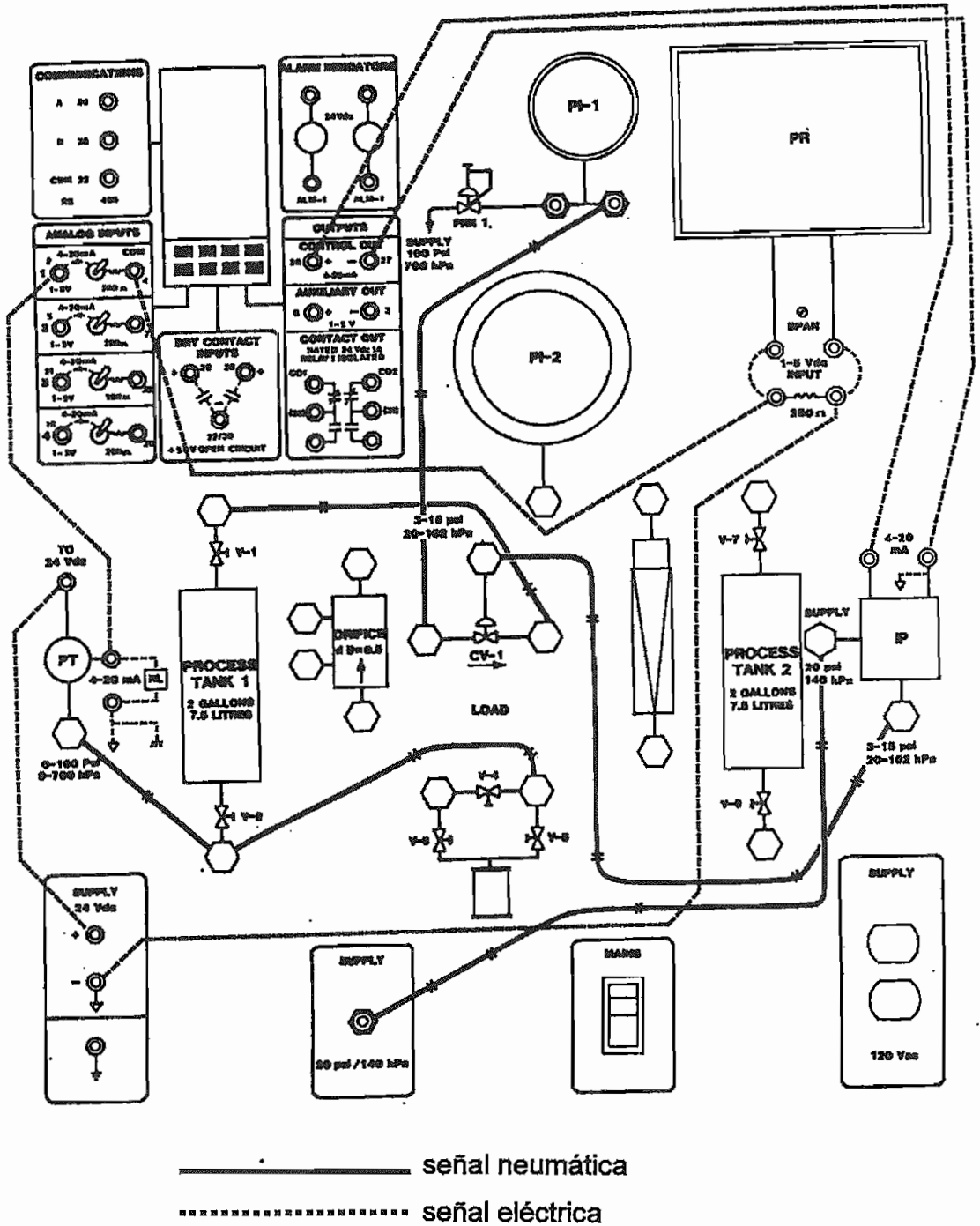
1. ¿Qué efectos ocurren con la adición de la acción integral para un controlador proporcional?
2. ¿Tiene algún efecto sobre la acción integral el cambio del set point de un controlador proporcional-integral?. Explique
2. ¿El cambio en las repeticiones por minuto del controlador, causados por la acción integral, proporcionan cambios en la ganancia?. Explique.

H. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE FLUJO

FIGURA 13.2: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA EL CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DE UN PROCESO DE PRESION – DIAGRAMA DE LAZO.



PRACTICA No. 14

A. TEMA: CONTROL PROPORCIONAL E INTEGRAL Y DERIVATIVO EN UN PROCESO DE NIVEL

G. OBJETIVOS

1. Analizar la forma de operación del modo de control Proporcional-Integral-Derivativo (PID), en un Proceso de Nivel.
2. Observar y analizar los efectos de cambios en la demanda y el setpoint en un Controlador PID.

H. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consulte la ecuación matemática de la salida del Controlador PID, y describa el significado y las unidades de cada término.
2. Analice las ventajas y desventajas que presenta el modo de control compuesto PID.

I. INFORMACION TEORICA

Es muy importante entender cómo un Proceso responde a variaciones de oferta o demanda, para poder calibrar adecuadamente el instrumento utilizado para controlar el proceso. Un método sencillo para observar cómo los ajustes del Controlador afectan las características de un Proceso es "Perturbar" intencionalmente el Proceso y luego monitorear la reacción en el Registrador gráfico.

Para procesos que no pueden tolerar oscilación continua se utiliza un Controlador Proporcional. Para procesos que no pueden tolerar oscilación

continua o Error de Estado estable, se utiliza un Controlador proporcional-Integral.

Para procesos que requieren estabilidad mejorada y no pueden tolerar Error de Estado Estable se utiliza un Controlador Proporcional-Derivativo.

Para procesos que requieren estabilidad mejorada y no pueden tolerar Error de Estado Estable se utiliza un Controlador Proporcional –Derivativo.

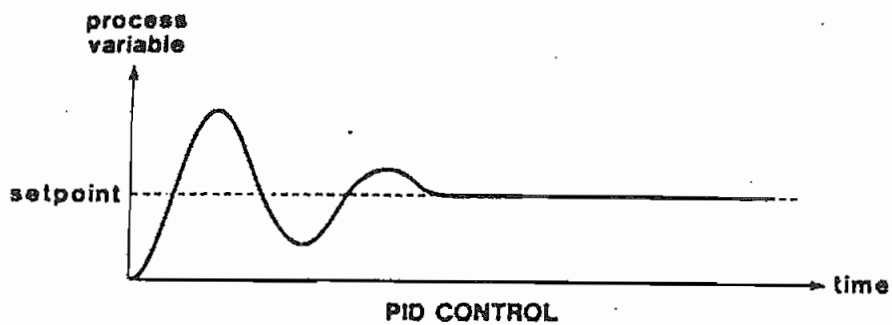


Fig. 14.1: Respuesta en el tiempo del controlador PID.

El control Derivativo rara vez se utiliza con Control Proporcional únicamente. El Control PID es deseable en Procesos donde hay varios tiempos de retardo diferentes.

Algunos procesos no pueden tolerar Error de Estado Estable, sin embargo requieren buena Estabilidad. En éste caso se utiliza el modo de Control PID que combina las ventajas del Control Proporcional, Integral y Derivativo, y al mismo tiempo elimina sus desventajas respectivas.

La acción derivativa adelanta la salida Proporcional lo que proporciona una señal de salida más rápida al Elemento de Control Final. A medida que la tasa de cambio de la señal de error aumenta, la salida inicial del Controlador es mayor. Esto ayuda al controlador a anticipar grandes amplitudes de error resultantes de señales de error que cambien rápidamente.

La acción Derivativa, normalmente no se usa con procesos de respuesta rápida como control e flujo, o con procesos ruidosos, porque la acción Derivativa responde a cualquier tasa de cambio en la señal de error, incluso al ruido.

El control Derivativo es usado en sistemas de Control de proceso donde el tiempo de retardo (tiempo que se requiere para medir un cambio) es grande.

J. EQUIPO

Módulo didáctico de Proceso de Nivel. incluyendo:

- Controlador Foxboro 761.
- Transmisor de Presión Diferencial (P/D).
- Convertidor Corriente a Presión (C/P)
- Registrador gráfico (LR)

K. PROCEDIMIENTO

PRECAUCION: No active la bomba por períodos prolongados, estando las llaves cerradas.

1. Calibre los instrumentos como se indican a continuación:

- a. Transmisor de presión diferencial (P/D)
- b. 4-20mA/3-154psi
- c. Registrador gráfico (LR): 1-5Vdc/4-20mA, para una indicación de 0-100% de la escala del instrumento.

2. Configure el controlador como se indica a continuación:

- Auto/Manual = Manual
- Setpoint = 50 %

- Modo = PID
- PF = 100 (Banda proporcional = 100%) (Ganancia = 1)
- IF = 10 (Tiempo Integral = 10 minutos); lo que implica una ganancia integral = 0.1 rep/min.
- Acción Reverso (INC/DEC).
- Remoto/Local = Local.
- DF = 0.05 (Tiempo Derivativo en minutos).

3. Conecte el equipo como se indica en la figura 14.2.

4. Ajuste manualmente la salida del Controlador al 50% . Encienda la bomba, abra V1, llene el tanque a 15"WC (38 cm.) y desfogue el extremo de alta presión (HP) del Transmisor.

5. Arranque el Registrador (en velocidad lenta) y lleve el controlador a Automático.

6. Registro del efecto de la perturbación de cambio en la Carga del Proceso: Cierre la válvula V3 durante 2 o 3 segundos (para provocar la perturbación de cambio en la carga), luego abra completamente dicha válvula y espere a que el Proceso se estabilice. Detenga el registrador cuando el Proceso se estabilice.

NOTA: *El efecto anterior se puede también obtener, al abrir la válvula V11, y luego abrir la válvula Solenoide (SVI) por 2 o 3 segundos.*

7. Registro del efecto del aumento de la Ganancia en respuesta a un cambio de Carga:

- a. Aumente la Ganancia a 2 (PF = 50).
- b. Arranque el Registrador.
- c. Repita el paso 6.

8. Registro del efecto del aumento de la acción Integral en respuesta a un Cambio de Carga:
 - a. Aumente la constante integral a 0.02 rep/min (TI = 50)
 - b. Arranque el registrador.
 - c. Repita el paso 6.

9. Registro del efecto del aumento de la acción derivativa, en respuesta a un cambio de carga:
 - a. Gradúe el tiempo Derivativo de 50 minutos (DF = 50).
 - b. Arranque el Registrador gráfico.
 - c. Repita el paso 6.

10. Registro del efecto de los ajustes originales, en respuesta a un cambio en el Setpoint.:
 - a. Ajuste los parámetros de P, D, e I, en los valores originales.
 - b. Arranque el Registrador (velocidad lenta) y disminuya rápidamente el Setpoint al 20%.
 - c. Detenga el Registrador cuando se estabilice el Proceso. Lleve el Setpoint al 50%.

11. Registro del efecto del aumento de la Ganancia, en respuesta a un cambio en el Setpoint:
 - a. Ajuste la ganancia a 0.02 (PF = 50).
 - b. Repita los pasos 10 (b) – (c)

12. Registro del efecto del aumento de la acción Integral, en respuesta a un cambio en el Setpoint:

- a. Ajuste el Reset a 0.02 rep/min ($IF = 50$).
- b. Repita los pasos 10 (b) – (c)

13. Registro del efecto del aumento de la acción Derivativa , en respuesta a un cambio en el setpoint.

- a. Ajuste el tiempo derivativo a 5 minutos ($DF = 5$)
- b. Repita los pasos 10 (b) – (c), y apague la bomba.

L. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Para el paso 6, describa la forma de respuesta y compare con el paso 5.
2. Para el paso 7, describa la forma de respuesta y compare con el paso 6.
3. Para el paso 8, describa la forma de respuesta y compare con el paso 6.
 - a. Para el paso 9, describa la forma de respuesta y compare con el paso 6.
 - b. Para el paso 10, describa la forma de respuesta en términos del Error de estado Estable y de la Estabilidad.
 - c. Para el paso 11, describa la forma de respuesta y compare con el paso 10.
 - d. Para el paso 11, describa la forma de respuesta y compare con el paso 10.

M. CUESTIONARIO

1. En el Proceso de Nivel, cuál sería el resultado de ajustes Derivativos altos?.

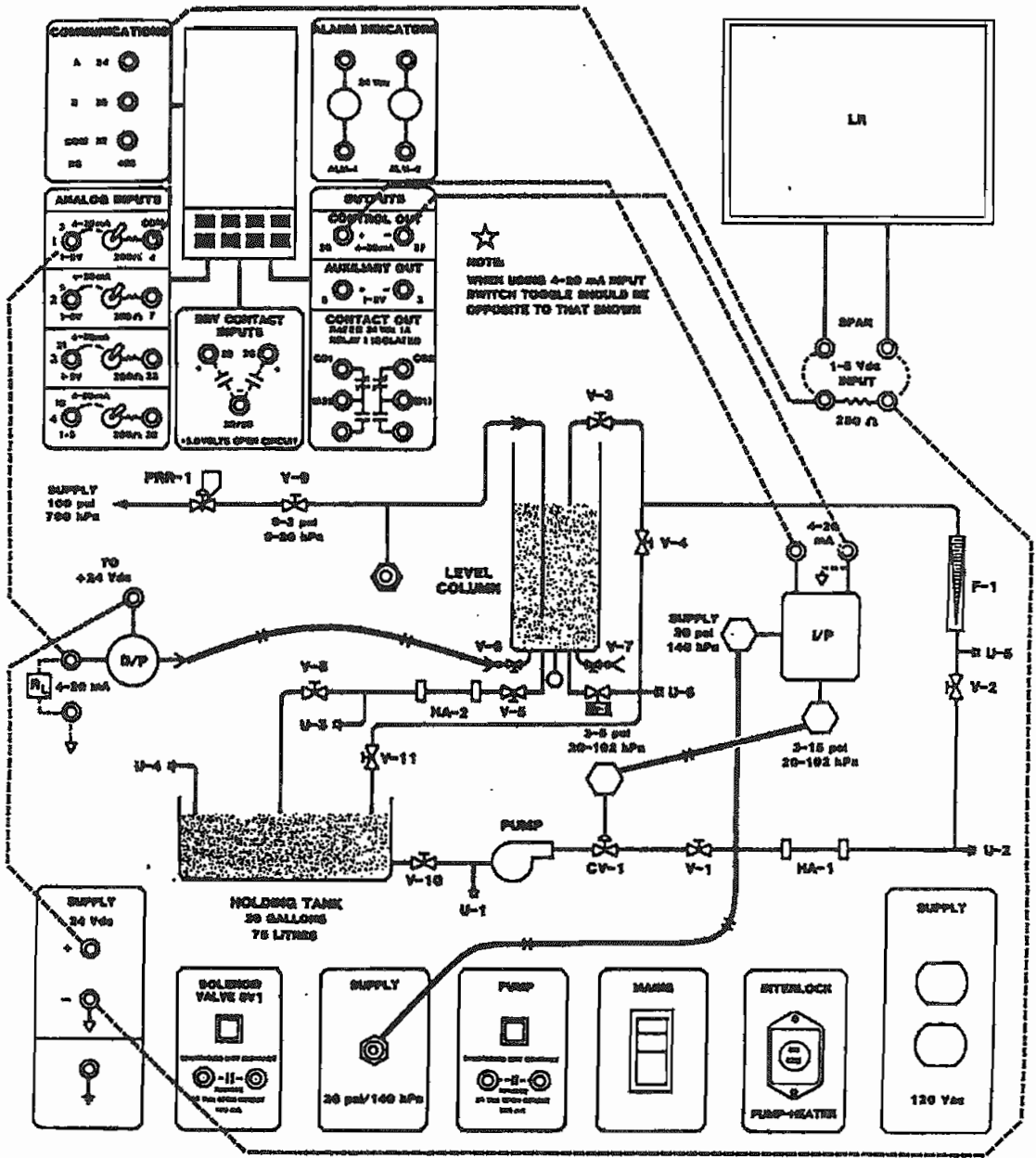
2. Con unos mismos ajustes del control Integral y Derivativo, cuál es el cambio en la acción integral y Derivativa, causado al aumenta la Ganancia del Controlador?
3. Se ve afectada la acción Integral del Controlador P.I.D. al ajustar la acción Derivativa? Porqué?.

N. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

MODULO DE CONTROL DE FLUJO

FIGURA 14.2: CONEXION E INSTALACION DEL EQUIPO PARA EL CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL Y DERIVATIVO DE UN PROCESO DE NIVEL – DIAGRAMA DE LAZO.



PRATICA No. 15

A. TEMA: REGULACION AUTOMATICA DE TEMPERATURA UTILIZANDO EL MODO DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO.

B. OBJETIVOS

1. Estudiar las características del modo de control Proporcional Integral Derivativo (PID) en la regulación automática de una variable dinámica como es la temperatura.
2. Analizar los procedimientos de instrumentación y la utilización de los elementos que intervienen en el control PID al realizar la regulación automática de temperatura.
3. Determinar la correcta calibración de las constantes que intervienen en este modo de control.
4. Analizar la respuesta del proceso en el uso de las ganancias que intervienen en la operación del instrumento controlador.

C. TRABAJO PREPARATORIO

1. Consultar las características operativas del modo de control PID.
2. Determinar las condiciones que hacen que el modo de control PID sea el más versátil y el de mayor confiabilidad dentro de la regulación automática de los procesos industriales.
3. Consultar diagramas electrónicos que permiten implementar en forma eficiente el modo de control PID

4. Consultar en qué tipo de aplicaciones industriales se puede aplicar el modo de control PID

D. INFORMACION TEORICA

El modo de control Proporcional Integral Derivativo, es el modo de control más completo entre todos los existentes, este tipo de control tiene dicha característica, pues aprovecha todas las ventajas que presentan los tres modos de control individuales, y es más, elimina los inconvenientes que estos puedan presentar.

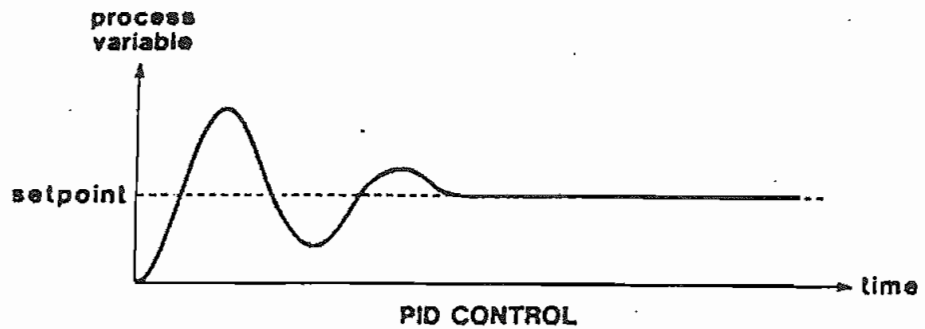
Algunos de los procesos no toleran errores de compensación, aunque necesitan estabilidad. Para ello debe usarse un sistema de control que combine las ventajas del proporcional, del derivativo, y del integral (PID).

La acción derivada hace que la salida proporcional se adelante, lo que produce una rápida señal de salida en el elemento de control final. A medida que la velocidad de cambio en el error de la señal cambia, la salida en el controlador inicial es mayor. Esto ayuda al controlador a anticipar amplitudes de error más grandes que dan como resultado un rápido cambio de error en las señales.

La acción derivativa no es usualmente utilizada en procesos de respuesta rápida tales como el control de flujo, o con procesos ruidosos, debido a que la acción derivativa responde a cualquier velocidad de cambio en el error de la señal, incluyendo el ruido.

El control derivativo se usa en sistemas de control para procesos en los cuales el retraso de tiempo (tiempo para medir un cambio) es largo. Este control se considera difícil de implementar, ajustar y adicionalmente sólo se utiliza cuando la cantidad de retraso de tiempo

es extensa. Es típico utilizarlo como control PID para el control de temperatura y otras aplicaciones lentas.



E. EQUIPO REQUERIDO

- Módulo de Proceso de temperatura, incluyendo:

	DISPOSITIVO	CALIBRACIÓN
1	Microcontrolador PID Foxboro 761	
2	Termocupla Tipo J.	
3	Registrador de curvas (FR)	1 - 5 VDC / 4 - 20 mA
4	Transmisor de termocupla (TT)	0-200°C (0-400°F) / 4-20 mA

CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR:

- Auto / Manual = Manual
- Setpoint = 50%
- Acción = Inversa (Incremente – decremente)
- Modo de control = PID
- Banda proporcional = 100%
- Tiempo integral = Mínimo
- Acción derivativa = 0.01Mínimo
- Entrada analógica

- Accionamiento de la señal: Ninguno
- Salida del controlador: Primario

F. PROCEDIMIENTO.

1. Conecte la estación de control según lo indica el diagrama de lazo en la figura 4.2.
2. Coloque el interruptor del control del termostato en la posición Driver. Abra el registro del horno y establezca una pequeña carga enfriadora desde el inyector de aire.
3. Ajuste manualmente la salida del controlador hasta que la variable del proceso a medir iguale el valor del setpoint fijado. Luego coloque el interruptor en automático.
4. Introduzca una perturbación en el proceso, aplicando una carga enfriadora al horno al abrir la válvula V-1.
 - a) Inicie la operación del registrador, colocándolo en velocidad lenta.
 - b) Aumente la presión del aire en el inyector y registre la curva de respuesta hasta que el proceso se estabilice, entonces detenga el registrador.
 - c) Reduzca la presión del aire en el inyector y deje que el proceso se estabilice.
5. Incremente la ganancia del controlador variando la banda proporcional y repita la fase 4 de (a) a (c)
6. Incremente la acción integral en el controlador y repita la fase 4 de (a) a (c).

7. Incremente la acción derivativa en el controlador y repita la fase 4 de (a) a (c).
8. Ajuste la banda proporcional al 100%, la constante integral a 0,11 y la derivada a 0.06.
 - a) Cambie el setpoint a 20%, e inmediatamente inicie el registro de la curva de respuesta.
 - b) Cuando el proceso se haya estabilizado detenga el registrador, y coloque el setpoint nuevamente en 50%.
9. Reduzca la banda proporcional a 50% y repita los pasos de la fase 8 (a) y (b).
10. Incremente la acción integral a 20 min/rep y repita los pasos de la fase 8 (a) y (b)
11. Incremente la acción derivativa a 0.8 min y repita los pasos de la fase 8 (a) y (b).
12. Desconecte todos los elementos de la estación, baje todos los voltajes a cero.

G. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Usando papel milimetrado y en una escala adecuada, trace las curvas de respuesta del proceso, en base a las curvas obtenidas en el registrador, para cada punto considerado en el experimento (Indique a la variación de que parámetro corresponde cada gráfico).
2. Describir cada una de las curvas trazadas en el punto anterior en términos de error residual y estabilidad.

H. CUESTIONARIO

- a. ¿Cuáles son las ventajas de utilizar un controlador proporcional, más integral, más derivado?
- b. ¿Con los mismos estados integral y derivado, qué cambio se produce en el integral y en la acción derivada cuando se incrementa la ganancia del controlador?

¿Puede afectarse la acción integral de un controlador PID cuando se hace un ajuste en el estado derivado?

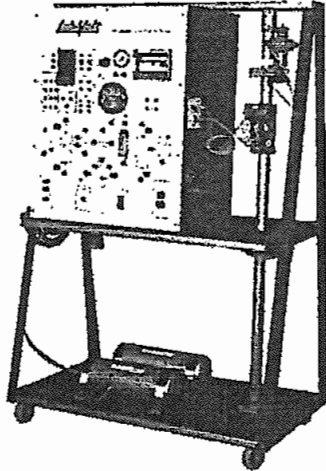
I. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

J. BIBLIOGRAFIA

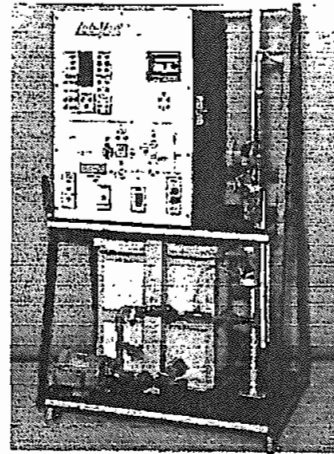
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

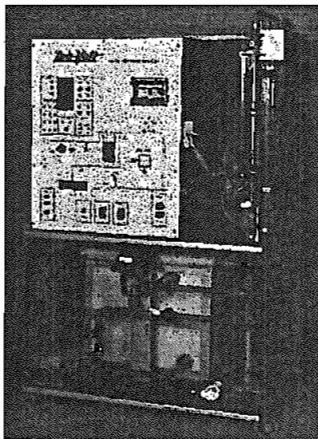
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA



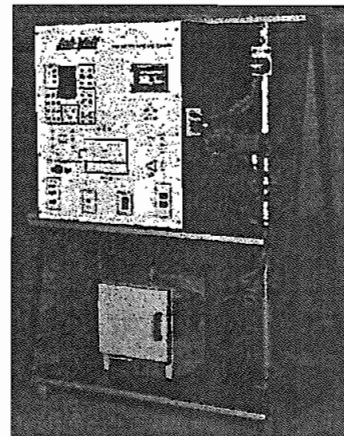
PRESION



FLUJO



NIVEL



TEMPERATURA

GUIA DEL INSTRUCTOR

Quito, Marzo del 2002

CONTENIDO

Introducción	
Práctica No. 1:	
Operaciones básicas de un controlador basado en un microprocesador.....	1
Práctica No. 2:	
Programación básica de un controlador basado en microprocesador.....	2
Práctica No. 3:	
Calibración de un transmisor de nivel.....	3
Práctica No. 4:	
Calibración de un transmisor de presión.....	5
Práctica No. 5:	
Características del tiempo de respuesta del proceso y del transmisor de presión.....	6
Práctica No. 6:	
Características del proceso de presión.....	8
Práctica No. 7:	
Medición de nivel usando un surtidor de burbujas.....	10
Práctica No. 8:	
Medición de nivel de un tanque abierto	11
Práctica No. 9:	
Medición de nivel con supresión de cero	12
Práctica No. 10:	
Medición de la temperatura utilizando una termocupla J.....	12
Práctica No. 11:	
Medición de temperatura utilizando un RTD.....	15
Práctica No. 12:	
Control proporcional de un proceso de flujo	17
Práctica No. 13:	
Control proporcional e integral aplicado a un proceso de presión	19
Práctica No. 14:	
Control proporcional e integral y derivativo en un proceso de nivel	21
Práctica No. 15:	
Regulación automática de temperatura utilizando el modo de control proporcional, integral derivativo	23

INTRODUCCION

El rápido avance en la tecnología de los instrumentos y el control de los procesos industriales ha aumentado el número de tareas realizadas por los técnicos de instrumentos en las plantas industriales. Entre estas tareas se cuentan: calibración, solución de problemas y reparación de instrumentos, que van desde el relé amplificador neumático hasta los controladores automáticos basados en un microprocesador. Para realizar estas tareas sin perjudicar la producción de la planta y los costos de mantenimiento, es fundamental contar con una correcta capacitación, la misma que se logra con el aprendizaje significativo basándose en la teoría y en la concretización del conocimiento mediante el uso de laboratorios o talleres debidamente equipados acorde con la tecnología de punta.

Desde este punto de vista, el presente trabajo es una propuesta metodológica que permite concretizar el conocimiento teórico adquirido en el aula mediante un proceso didáctico que toma en cuenta un orden sistemático para llegar al objetivo de estudio.

La Guía del Instructor esta diseñada para proveer orientaciones sobre el proceso de control que se llevará a cabo en las distintas prácticas, así como también las respuestas a los procedimientos y preguntas de repaso. Igualmente sirve para resaltar áreas de dificultad encontradas en el desarrollo de los procedimientos y sugerir soluciones alternas.

Práctica No. 1: OPERACIÓN BASICA DEL CONTROLADOR BASADO EN UN MICROPROCESADOR

Los módulos didácticos de control de procesos: presión, flujo, nivel y temperatura utilizan un controlador basado en un microprocesador, específicamente el FOXBORO 761, por lo que es indispensable realizar un ejercicio de reconocimiento y operación básica de los controles y teclas de las que consta este controlador.

El conocimiento de la función de cada una de las teclas del panel de frontal del controlador; así como reconocer la lectura de los displays gráficos que presentan información del set-point, la medida de la variable del proceso y de la salida del controlador es el objetivo principal de la realización de esta practica, pues de aquí en adelante el uso de este controlador es fundamental para hacer el resto de las prácticas.

La presentación gráfica de valores en el controlador Foxboro 761 se la puede conseguir a través de las barras gráficas y de la presentación alfanumérica del panel frontal del dispositivo, se debe determinar previa la realización de la práctica que no todas estas presentaciones pueden ser alteradas así como determinar cual de las presentaciones resulta ser más exacta.

Respuestas a las preguntas

1. ¿Qué representa el centro de la barra gráfica en la placa frontal del controlador?.

El centro en la gráfica de barras en la placa frontal del controlador indica el valor medio del proceso y no puede ser alterado con los pulsadores.

2. ¿Puede ser este valor alterado usando los botones pulsadores?.
3. ¿Qué es mas preciso: la gráfica de barras o el display alfanumérico?.
Explique.

El display alfanumérico es más preciso debido a que tiene una precisión de una cifra decimal. Cada segmento del gráfico de barras representa el 2% de la escala de 0 – 100%.

4. Bajo ciertas condiciones, la flecha indicadora principal puede titilar en el display del controlador.

Práctica No. 2: PROGRAMACION BASICA DE UN CONTROLADOR BASADO EN MICROPROCESADOR

Al estar el controlador FOXBORO 761 basado en un microprocesador es primordial conocer los pasos básicos de programación, necesarios para la implementación posterior de las acciones del control requeridas en el proceso.

Para realizar la programación el controlador debe ser colocado en el modo " P " (panel), pues es en este modo en donde toda manipulación de las teclas del panel van a afectar el proceso, no así, si el controlador se encuentra en el modo "W" (estación de trabajo) en donde el computador hace el control de los instrumentos y variables y ningún botón va a afectar el proceso.

Existen varios niveles para la programación del controlador, obviamente dependiendo del modo de operación del dispositivo de control. Si se encuentra en el modo SET los parámetros de configuración son protegidos con códigos de acceso y serán alterados tan solo por la persona autorizada y que conozca el código de acceso. No así en el modo READ en donde el valor de varios parámetros del proceso están disponibles para alguna operación de control, pero pudiendo solamente ser leídos más no modificados por el operador.

La programación del controlador dependerá de la aplicación o aplicaciones que vayan a desarrollar el dispositivo, también dependerá de lo que se desee realizar con la estación de proceso de presión, por lo que es necesario familiarizarse y de ser posible dominar completamente el diagrama de estructura del controlador (adjunto en el anexo B del texto principal), este

Práctica No. 4: CALIBRACIÓN DE UN TRANSMISOR DE PRESION

Esta práctica tiene como finalidad realizar el ajuste y calibración del transmisor de presión lineal que forma parte de el Módulo de Control de Presión, acondicionándole para el desarrollo de las prácticas que requieran el rango de trabajo para el que se calibra, puesto que si la aplicación requiere límites de calibración diferentes se debe proceder como en esta práctica pero para el rango especificado.

En esta práctica se utiliza un diafragma de acero inoxidable para aplicar una presión al sensor. El sensor convierte el cambio de presión a un cambio de resistencia. La salida del puente de Wheatstone (parte interna del transmisor) , es luego amplificada y convertida por un circuito adicional que produce una salida proporcional de 4 – 20mA. En teoría cualquier transmisor puede usarse si se dispone de la fuente de presión y los estándares de calibración.

Para el desarrollo de esta práctica se deben considerar algunos aspectos que influirán directamente en los resultados finales. Así, se debe considerar que el equipo de calibración utilizado debe ser por lo menos tres veces más preciso que la precisión deseada del transmisor.

El método de lectura directa del miliamperímetro es bastante confiable y recomendable, por lo que el instrumento de medida debe estar instalado en cualquiera de los cables de conexión del sistema. Aunque el método más preciso puede ser el uso de una resistencia de precisión (por ejemplo de 250), para convertir la corriente de salida en una señal de voltaje.

Debido a la interacción entre el cero y el ajuste de expansión, es necesario repetir los procedimientos de ajuste de estos dos parámetros hasta que el transmisor entre en la precisión requerida. El transmisor tiene un ajuste lineal y es necesario ajustarlo para obtener datos aceptables.

En esta práctica, en la cual el rango bajo de presión es de 0 psi, es recomendable desconectar la entrada de presión del transmisor cuando se

determina el cero, para asegurar de este modo que la entrada sea efectivamente cero psi, esto previene un encadenamiento con el regulador que genera una señal de entrada falsa.

Es importante tener presente que en procesos neumáticos la distancia puede ser un factor limitante en el proceso, pues de esta dependerán los retardos que se puedan introducir trayendo como consecuencia, una reducción de la velocidad del sistema neumático.

Respuestas a las preguntas

1. ¿Piensa usted que puede ser útil desconectar la entrada del transmisor de presión cuando se determina el cero. Porqué?
2. ¿Podría un instrumento con un margen de precisión de $\pm 2\%$ del rango, ser más o menos preciso que uno con una precisión de $\pm 2\%$ por encima del valor del rango? Por ejemplo un instrumento cuyo rango es de 0 a 200 y con la misma precisión del 2%.
2. ¿Por qué se almacenaron los datos de calibración para señales de entrada incrementales y decrementales?. Cómo los de la tabla 4.1.
4. ¿Cuál es la limitación principal de un transmisor neumático?

Práctica No. 5: CARACTERÍSTICAS DEL TIEMPO DE RESPUESTA Y DEL TRANSMISOR DE PRESION

La mayoría de los transmisores de presión son bastante exactos en la medición de presiones en estado estacionario. Pero en el campo industrial y en determinadas aplicaciones estos transmisores deben tener la habilidad de presentar una respuesta rápida y precisa a las condiciones de la dinámica del proceso de presión.

Se desea una rápida respuesta, si el proceso es capaz de realizar cambios rápidos. Además es importante indicar la precisión de la rapidez con que el proceso está cambiando.

2. ¿Existen explicaciones dónde no es deseable que el transmisor responda rápidamente?. Explique.

Sí, si el proceso está constantemente oscilando y solo se requiere una oscilación promedio del proceso. En este caso un transmisor lento puede ser útil y además beneficioso en términos de extender la vida útil del servicio, tales como instrumentos de recepción entre los cuales se tiene medidores de paneles y registradores.

3. Explique la importancia del lugar donde usted coloca el transmisor en el proceso.

Si dos tanques del proceso se colocan en serie, al conectar el transmisor al segundo tanque, se obtiene un tiempo muerto grande que conectándolo al primer tanque.

Práctica No. 6: CARACTERISTICA DEL PROCESO DE PRESIÓN

Tan importante como conocer la respuesta del transmisor de presión, resulta conocer la respuesta del proceso a todas las condiciones cambiantes o perturbaciones que sufra éste durante las operaciones normales del trabajo.

Por lo que con la realización de esta práctica se logra determinar las características del proceso de presión. Para lograr esto se aplica un método fácil que consiste en introducir perturbaciones al proceso y monitorear la reacción en el registrador de curvas.

Usando el calibrador para introducir las perturbaciones por medio de incrementos rápidos en las entradas de 4 a 12 mA se controla la válvula de

salida que cambia la condición del proceso y permite realizar el registro de la curva de respuesta. El proceso puede tomar algún tiempo para reaccionar al cambio.

En la práctica debe utilizarse tan solo uno de los tanques de la estación, por lo que la respuesta del proceso se la puede considerar rápida; lo que no sucedería si se conectan en serie los dos tanques en cuyo caso el proceso se volvería lento debido a que el volumen del mismo se duplica y puede ocurrir un retardo grande entre la apertura de la válvula de control y el tiempo en que el segundo tanque alcance su punto de referencia.

Esta práctica permite apreciar los efectos del tiempo que transcurre mientras el aire viaja a lo largo de las mangueras de conexión hasta el actuador de la válvula de control, así como también del tiempo que se requiere para que el aire a presión mueva la válvula de control y haga que el transmisor responda.

Respuestas a las preguntas

1. ¿Qué sucedería si en este experimento se conectan en serie los dos tanques, el proceso va a ser más lento o más rápido?. Explique.

El proceso puede ser lento debido a que el volumen del proceso se duplicó, y puede considerarse un retardo grande entre la apertura de la válvula de control y el tiempo en que el segundo tanque alcanza el punto de referencia.

2. ¿Qué factores causan que se presente tiempo muerto en el proceso de presión?.

El proceso de presión toma un tiempo para que el aire comprimido viaje a través de los tubos al actuador de la válvula de control. Este además requiere de un tiempo para que el aire de presión mueva la válvula de control de flujo y haga que el transmisor de flujo responda.

3. ¿Porqué en el proceso de presión alcanzó un valor de estado estacionario de menos de 50 psi / 350 KPa.?

La válvula de control de flujo se abrió parcialmente para permitir el flujo de aire al proceso y la presión del proceso se incrementó. Además la presión del proceso se alcanzó inicialmente debido a la salida de aire, donde la descarga de flujo de aire es igual al suministro de flujo de aire, y en este punto permaneció constante.

Práctica No. 7: MEDICION DE NIVEL USANDO UN SUTIDOR DE BURBUJAS

Respuestas a las preguntas

1. ¿Qué factores determinan la presión ejercida por una columna de líquido?

La altura del líquido y la densidad del mismo. Presión es igual a densidad por altura

2. En base a la tabla 7.1, considera que al utilizar el transmisor como una indicación de nivel, los valores obtenidos de nivel son correctos?.

Los valores en la tabla 2 son mayores. Para una medición precisa la presión en el tubo surtidor de burbujas debe ser exactamente la misma que la presión hidrostática por altura de la columna de agua lo cual significa que las burbujas de aire deben ser forzados del tubo a una tasa muy lenta. Si incrementa la tasa de flujo del surtidor la presión en este es mayor que la presión por altura de la columna de agua e indicará un nivel mayor que el valor real.

3. ¿Cuál sería el efecto sobre la precisión de la medición del nivel si la temperatura del líquido contenido en el tanque fuera elevada sobre la temperatura a la cual se calibró el sistema de surtidor de burbujas?

A medida que la temperatura del líquido aumenta, la densidad disminuye, por lo tanto el nivel indicado sería menor que el real.

Práctica No. 8: MEDICION DE NIVEL DE UN TANQUE ABIERTO

Respuestas a las preguntas

1. En la medición de nivel de esta práctica, por que el lado de baja presión (LP) del transmisor debe quedar abierto a la presión atmosférica?

En esta configuración el elemento de medida del transmisor está aproximadamente a 6" del fondo del tanque de proceso de nivel. Por lo tanto el transmisor dará como salida 4 mA cuando el nivel del tanque esté a 6". Por debajo de este nivel la salida del transmisor será menor al 0% (4 mA). Es necesario ajustar el cero y en este caso en donde el elemento de medida del transmisor está por encima del cero real, se denomina Elevación de cero. Se aprenderá más sobre este tema en el siguiente ejercicio.

2. ¿Si el líquido en el tanque se calentara aproximadamente a 100 grados C., las lecturas del D/P serías mayores o menores que el nivel del tanque? Explique

Calentar el líquido reduciría la densidad y por lo tanto incrementaría el volumen. E; nivel aumentaría pero el peso del líquido sería el mismo, por lo tanto el D/P indicaría un nivel inferior al real.

3. ¿Cuál sería el efecto sobre la precisión del Transmisor de Presión Diferencial si quedara agua atrapada dentro del cuerpo del transmisor cuando se utilizara aire como medio de calibración?

El peso del agua atrapada causaría una lectura en el transmisor mayor a la presión aplicada real.

Práctica No. 9: MEDICION DE NIVEL DE SUPRESION DE CERO

Respuestas a las Preguntas

1. ¿Qué determina el mínimo nivel de tanque detectable por el Transmisor de Presión Diferencial?

El nivel mínimo detectable está determinado por donde la línea de medición esté posicionada en el tanque. La posición del transmisor también es importante. Debe estar con el rango de supresión de cero y de elevación de cero como lo especifica el fabricante.

2. Defina brevemente un transmisor con capacidad de rango con cero suprimido.

La capacidad de rango con cero suprimido permite al instrumento compensar por presión indeseada aplicada al puerto de alta tensión.

Practica N. 10 MEDICION DE LA TEMPERATURA UTILIZANDO UNA TERMOCUPLA (Termopar J)

En este ejercicio de laboratorio se determinan las características de la respuesta de una termocupla tipo J, al ser utilizada como medidor de temperatura para ser usada en un proceso completo de regulación automática.

Una termocupla es un elemento construido por la unión de dos placas de metal diferente, que cuando ésta unión se calienta produce una diferencia de potencial en el orden de los milivoltios, que es proporcional a la temperatura aplicada en su extremo. Es precisamente la relación de salida de milivoltios, lo que nos interesa determinar en esta practica, lógicamente para determinar sus características y observar si presenta alguna falla en su respuesta.

En una termocupla existe la juntura caliente y la juntura de referencia, de cuya temperatura depende el ajuste proporcional que debe realizarse, pues existe una diferencia de temperatura entre la juntura caliente y la juntura de referencia. Se debe tomar también en cuenta que la termocupla y el termómetro que mide la temperatura de referencia deben encontrarse muy próximos, si es posible que estén casi en contacto, para no tener dudas sobre la temperatura actual que miden ambos instrumentos.

Se debe también considerar que la termocupla puede presentar histéresis en su respuesta por características de la misma y porque la temperatura del horno y la termocupla no son realmente iguales, factores que hacen que esta respuesta se presente.

Se deben entonces introducir, la termocupla y el termómetro dentro del horno para desarrollar el experimento, esto con el horno calentándose o previamente calentado.

Se forma también otra juntura de referencia al conectar el voltímetro, pero esta juntura como es con el otro terminal no incide en la medición de la temperatura. Todos estos procesos se han de realizar para medir en forma óptima su respuesta.

Terminado con las conexiones, entonces será cuando se comiencen a tomar los resultados de acuerdo a la tabla diseñada, esta presenta intervalos de valores de temperatura constantes, y además la característica de subida y la bajada de la temperatura, esto con el fin de determinar la histéresis de la termocupla.

Como se puede notar en el ensayo se definen las características de respuesta e histéresis de la termocupla, con resultados tabulados, analizados y graficados, pero además con este ensayo se puede también determinar cuando, y cuando no, está respondiendo adecuadamente el elemento censor como sus condiciones constructivas lo determinan, es decir se verificará

cuando el elemento ha terminado su vida útil o tiene algún defecto de operación.

Respuestas a las preguntas

1. Por qué razón la termocupla y el termómetro deben estar juntos dentro del horno?

Para no tener dudas sobre la temperatura actual que miden ambos instrumentos.

2. Por qué razón al graficarse la curva de temperatura de la termocupla se presenta histéresis?

Por que se toman datos de subida y bajada de temperatura en la termocupla

- 3.Cuál es la necesidad de que exista una temperatura de compensación en la junta de referencia?.

En una termocupla existe la junta caliente y la junta de referencia, de cuya temperatura depende el ajuste proporcional que debe realizarse, pues existe una diferencia de temperatura entre la junta caliente y la junta de referencia.

4. A qué es proporcional el voltaje de salida de la termocupla?

Es proporcional a la temperatura aplicada en su extremo

5. Si la medición de la temperatura en la junta se mantiene constante , qué efecto produce un incremento en la temperatura de la junta de referencia sobre los milivoltios de salida del circuito de termocupla?

Se causaría una reducción en la diferencia de temperatura entre la medición y las juntas de referencia y además una reducción en los milivoltios de salida.

6. El voltaje de salida de la termocupla puede calcularse también, si se conocen las potencias termoeléctricas de los cables utilizados. Porqué esto no se da en la práctica?

Porque la respuesta de la termocupla es no-lineal, el valor de la energía termoeléctrica es válido solo a una temperatura. Cualquier desviación de esta temperatura llevaría a una indicación inexacta.

Practica N. 11 MEDICION DE LA TEMPERATURA UTILIZANDO UN RTD

El RTD es un medidor de temperatura constituido generalmente con varios arrollamientos de un fino hilo conductor. Como las características intrínsecas de los metales determinan que existe una resistencia termoeléctrica definida por sus propias características, se realiza la medición de la temperatura en función de la resistencia que van presentando los elementos conforme aumenta o disminuye la temperatura, simplemente son puentes de Eathstone compensados en donde una de sus ramas corresponde exactamente a la resistencia del material del arrollamiento. Es muy importante determinar que en estos casos, la distancia que separa al elemento de medición del dispositivo transmisor, determina la característica de compensación del puente de Weathstone, o lo que se refiere a su configuración de conexiones.

El RTD que proporciona la estación, es uno del tipo de platino con 100Ω de resistencia de referencia, es decir el que se conoce como Pt 100. La respuesta del Pt 100 es muy lineal casi en todo el rango de temperatura, es por eso, que aunque su costo es elevado, nos proporciona las mejores características de medición. Este medidor tiene una característica tal que nos dará por definición, una resistencia de salida de 100 para una temperatura medida de 0°C , para el resto de temperaturas, el valor de la resistencia está definida por ciertas tablas

que las contienen, éstas características son realmente las que se quieren investigar con este experimento.

Se debe tomar precauciones con el RTD pues, este es mucho mas frágil que la termocupla debido a su construcción. Este elemento puede presentar cierta histéresis al medir temperaturas, debido a su constitución misma y debido a que la temperatura total del horno no es la misma que está presente en él.

En el procedimiento del ensayo, se deben introducir el termómetro y el RTD dentro del horno, e inmediatamente comenzar a calentarlo. Según la tabla se esperará que la temperatura del horno llegue a ciertos valores específicos y se tomarán las lecturas de la temperatura y la salida resistiva del RTD, en primer término en forma ascendente y luego se apagará el horno y con los mismos valores antes citados de la tabla se tomarán los valores de la salida resistiva del RTD para la temperatura en forma descendente y de esta forma probar la existencia o no de la histéresis en el RTD.

Deberá entonces compararse los valores obtenidos en el experimento, con los valores esperados presentados en las tablas de los RTD Pt 100, y determinar similitudes o diferencias, si este es el caso, deberá también identificarse el porqué de los valores erróneos, si fueron cometidos en el transcurso del ensayo o si el RTD estaba operando defectuosamente.

Respuestas a las preguntas

1. Qué es el coeficiente de temperatura. Cómo se puede determinarlo?.
2. Enumere las diferencias entre el RTD y la termocupla.
3. Haga una comparación de linealidad entre la termocupla y el RTD.
4. Enumere las ventajas y desventajas de los RTD y las termocuplas.

5. Sin complicar las mediciones del circuito utilizado, cómo se corrige el error introducido por la larga extensión de los terminales?

Mida la resistencia de los terminales de los RTD, acortándolos al RTD, luego reste esta resistencia del terminal del valor de resistencia de cada RTD.

2. Si la temperatura crece, la resistencia crece o disminuye?

Si la temperatura crece, la resistencia de la probeta RTD aumenta.

3. A qué temperatura está la resistencia de un RTD 100 ohmios exactamente a 100 ohmios?

A 0 C (32 F).

Practica N. 12: CONTROL PROPORCIONAL DEL PROCESO DE FLUJO

Una de las aplicaciones del controlador FOXBORO 761 es el modo de control proporcional, donde se programa al controlador para que este funcione de acuerdo al modo mencionado y luego analizar los efectos que éste produce. Este es el objetivo de la realización de esta práctica.

Luego de realizada la configuración interna del controlador en este modo de control y para poder analizar su funcionamiento se debe provocar perturbaciones en el proceso, registrando su respuesta en el registrador de curvas. También se deben realizar cambios en el punto de referencia y en la banda proporcional para apreciar de mejor manera la respuesta de éste.

En la práctica debe analizarse la estabilidad considerando las oscilaciones para las perturbaciones producidas con una banda proporcional establecida, aquí también debe analizarse el error de offset.

Analizados los resultados obtenidos en el registrador de curvas se debe comprobar las características de este modo de control.

Respuestas a las preguntas

1. Describa la respuesta del controlador obtenida en el registro para el paso 6 del procedimiento. Realícelo en términos de error de offset y la estabilidad.

La variable medida respondió al cambio del punto de referencia con mínimas oscilaciones y rápida estabilización.

2. Para el efecto del decremento en la ganancia en respuesta al cambio del punto de referencia (paso 7) describa la forma de respuesta en el registrador de curvas, en términos del error de offset y la estabilidad. Compara con el paso anterior.

La respuesta es más estable que la que resultó en el paso 6, por lo tanto existe un error de offset grande.

3. Para el efecto del incremento en la ganancia, en respuesta al cambio del punto de referencia (paso 8), describa la forma de onda en términos del error de offset y la estabilidad. Compare con el punto 1.

El proceso se vuelve inestable con muchas oscilaciones alrededor del punto de referencia. Sin embargo, cuando se estabiliza, el error de offset se reduce.

4. ¿Qué efectos en el offset y en la estabilidad son causados por el uso de un ajuste de baja ganancia en el controlador?

Ajustes de baja ganancia producen mayor estabilidad, pero también aumentan el error de offset.

5. ¿Después del cambio del punto de referencia en el proceso, ¿cómo se puede eliminar el error de offset?

En un controlador únicamente proporcional el offset debe ser removido manualmente. Colocando el controlador en manual y ajustando la salida hasta que la variable medida iguale el punto de referencia, luego se coloca el controlador de nuevo en automático.

Práctica No. 13: CONTROL PROPORCIONAL E INTEGRAL DE UN PROCESO DE PRESIÓN

Cuando un proceso determinado no tolera el error de offset se hace necesario buscar una manera de eliminarlo. Con un controlador proporcional – integral (PI) se logra efectivamente eliminar el error offset, pero tiene la desventaja de que la salida del controlador no es inmediata al elemento del control final para un nuevo valor de las condiciones del proceso.

En esta práctica igualmente se analiza la respuesta del controlador para diversos cambios en el set–point, la carga del proceso y las variaciones en las constantes de los controladores sean estas la banda proporcional o el tiempo integral.

La práctica permite alternar y variar todos los parámetros del controlador proporcional – integral y apreciar los efectos de cambiar cada uno de estos y realizar el análisis respectivo.

Es importante no alterar las condiciones del proceso una vez iniciado el registro de la respuesta para garantizar resultados satisfactorios, así no se debe alterar los valores de configuración establecidos al iniciar la práctica.

Respuestas a las preguntas

1. Para el paso 8, describa la forma de onda en el registro en términos del error de offset y de estabilidad.

No se presentan oscilaciones ni error de offset, sin embargo se toma relativamente grande el tiempo que necesita el proceso para retomar al punto de referencia.

2. Para el paso 9, describa la forma de la onda en el registro en términos del error de offset y de estabilidad.

Las amplitudes de overshoot son menores y el tiempo de estabilización es menor hasta que se estabiliza el proceso. No hay error de offset.

3. Para el paso 10 describa la forma de la onda en el registro en términos del error de offset y de estabilidad

La respuesta de la variable medida contine más oscilaciones que la señal en el paso 8. El alto R producido por el overshoot inicial causa que con el tiempo algunas veces el sistema se estabilice.

4. Para el paso 11 describa la forma de la onda en el registro en términos del error de offset y de estabilidad.

Hay algunas oscilaciones mínimas alrededor del nuevo punto de control.

5. Para el paso 12 describa la forma de onda en el registro en términos del error de offset y de estabilidad.

La variable medida responde con muchas oscilaciones antes de que se estabilice el proceso.

6. Para el paso 13 describa la forma de onda en el registro en términos del error de offset y de estabilidad.

El sistema responde con constantes oscilaciones indicando baja estabilidad

7. ¿Qué efectos ocurren con la acción integral, para un controlador integral teniendo todos los cambios de respuesta sobre el controlador?.

La acción diferencial causa la eliminación del error de offset, y responde con una diferencia entre la variable medida y el punto de referencia.

8. ¿Tiene algún efecto sobre la acción integral el cambio del set-point de un controlador proporcional e integral?.

El punto de referencia integral no cambia y no tiene efectos sobre la acción proporcional.

9. ¿El cambio en las repeticiones por minuto del controlador, causados por la acción diferencial, proporciona cambios en la ganancia?. Explique.

No es cierto que el número de repeticiones por minuto sea una función de ajuste del reset. Sin embargo el porcentaje de salida repetido cada minuto cambia.

Practica No. 14 CONTROL PROPORCIONAL, INTEGRAL Y DERIVATIVO DE UN PROCESO DE NIVEL

Respuestas a las preguntas

1. Para el paso 6, describa la forma de respuesta y compara con el paso 5.

La respuesta fue lenta. El nivel cayó inicialmente y no volvió al punto de ajuste, hubo un gran error de estado estable.

2. Para el paso 7, describa la forma de onda y compare con el paso 6.

La respuesta fue más rápida que en el paso 5. Hubo un error de estado estable menor.

3. Para el paso 8, describa la forma de onda y compare con el paso 6.

Buena respuesta. No hubo error de estado estable.

4. Para el paso 9, describa la forma de onda y compare con el paso 6.

Respuesta rápida. No hubo error de estado estable.

5. Para el paso 10, describa la forma de onda en términos del error de estado y estabilidad.

Respuesta lenta. No nuevo punto de control no alcanzó el nuevo punto de ajuste.

6. Para el paso 11, describa la forma de onda y compare con el paso 10.

Mejor respuesta que en el paso 9. Hubo un error de estado estable menor.

7. Para el paso 11, describa la forma de onda y compare con el paso 9.

Buena respuesta. Alcanzó el nuevo punto de ajuste rápidamente sin error de estado estable.

8. Para el paso 12, describa la forma de onda y compare con el paso 11.

El proceso fue inestable. Alcanzó el nuevo punto de ajuste rápidamente pero con varias oscilaciones. Aunque fue la misma sintonización que en el paso 8, la perturbación al proceso fue mucho mayor y la ganancia total fue demasiado alta.

9. En el proceso de nivel, ¿Cuál sería el resultado de ajustes derivativos altos? .

Como se vio en el ejercicio, el proceso tolerará una acción derivativa moderada si la perturbación no es muy grande. Sin embargo, generalmente la acción derivativa hará inestable al proceso.

10. Con unos mismos ajustes del control integral y derivativo, cual es el cambio en la acción integral y derivativa, causado al aumentar la ganancia del controlador? .

Aumentar la ganancia del controlador causa un incremento tanto en la acción integral como en la derivativa.

11. Se ve afectada la acción integral del controlador PID al ajustar la acción derivativa?.

Si, aumentar la acción derivativa causa una reducción en la acción integral.

Practica N. 15 CONTROL PROPORCIONAL, MAS INTEGRAL, MAS DERIVADO DE LA TEMPERATURA DE PROCESO

El modo de control proporcional – integral – derivativo, es el modo de control mas completo que existe, no simplemente por el hecho de que sea el de mayor complejidad, sino que aprovecha todas las características ventajosas de cada uno de los modos de control independientes, y además elimina los factores negativos que presentan cada uno de ellos.

Como en los modos de control anteriores, el control PID aprovecha las ventajas de los tres modos de control independientes y elimina todas las características negativas que ellos particularmente presentan, es por esa razón que se lo considera como el mas versátil. Este modo de control tiene la ventaja de tener una correspondencia 1:1 ente el error y la salida del controlador, aumenta la

estabilidad (control proporcional), regula la variable dinámica sin error residual (control integral) y posee la característica fundamental del control derivativo que es adelantarse a la producción del error, es decir cuando se está produciendo un porcentaje de error, este control considera que la perturbación continuará aumentándose en forma proporcional progresivamente y envía la acción correctiva antes de que el error se produzca, inclusive tiene tanta versatilidad que actúa aún cuando no existe error (desventaja del control derivativo).

Para la sesión de laboratorio se deben considerar ahora tres constantes, que son: la banda proporcional (PF), el tiempo de reset (IF) y el tiempo derivativo (DF); entonces se hace necesario realizar las modificaciones respectivas a dichas banderas en el controlador. En primer lugar se debe escoger en la opción de modos de control, el control PID y en las constantes del controlador primario las banderas respectivas. Es necesario aclarar que el controlador Foxboro 761 C tiene otra opción de control que es el control EXACT, en el también se deben fijar las tres constantes y adicionalmente otros parámetros de configuración, el operador del controlador debe identificar que la fijación de sus constantes correspondan al control PID, y no al control exacto, utilizando la opción de verificación READ en la secuencia de configuración del dispositivo de control.

Ya en la práctica se debe nuevamente conectar el diagrama de lazo cerrado de control que es exactamente el mismo que en las dos prácticas anteriores; calibrar todos los instrumentos y elementos del proceso para que se ajusten a especificaciones de control.

El procedimiento es básicamente el mismo, inicialmente se determinan las constantes con valores que se aproximen a los valores de configuración mas adecuados para que el control funcione de manera óptima.

Como es lógico pensar las constantes no actúan independientemente unas de otras, sino mas bien en forma correlacionada, es decir que se debe tener muy

cuenta que la respuesta del proceso estará definida por la combinación entre ellas.

El procedimiento inicia con el calentamiento del horno hasta llegar al valor de set-point, aumentando la salida del controlador en forma manual. Desde este punto e iniciando el registro se espera que el proceso se estabilice. Se cambia el valor del set-point, para verificar que el controlador trata de seguir con velocidad y estabilidad determinadas por las tres constantes operando relacionadas entre sí. Luego se introduce en el horno una carga de aire frío, para observar y registrar la respuesta del proceso a una perturbación, obteniéndose las curvas características para esos valores de calibración de las constantes.

El proceso se repite varias veces cambiando los valores de las constantes y aumentando, disminuyendo el valor del set-point, e introduciendo variaciones en la carga del proceso mediante la introducción de corrientes de aire frío en el horno.

Al finalizar la práctica se solicita hacer un análisis de las curvas en función de la rapidez de respuesta, del error residual y la estabilidad presentada a los cambios en los parámetros de control. Es entonces cuando se está en la capacidad de determinar con el más amplio criterio, cuales fueron los valores más adecuados que hicieron en el proceso de regulación automática de temperatura se comporte como un proceso versátil, con alta confiabilidad y que responda correctamente a cualquier tipo de variación de la señal. A demás se capacita también al operador a la búsqueda de fallas y determinación de soluciones en los procesos, cual es el modo de control mas adecuado, rápido, barato y simple de implementar en un proceso de control cualquiera.

Respuestas a las preguntas

Nota: En las preguntas de 1 a 8, los alumnos deben describir la forma de onda en el registrador para los diferentes estados PID luego de una carga o un

cambio en el punto de fijación. La curva resultante de la reacción depende de los parámetros seleccionados de afinamiento.

1. *¿Cuáles son las ventajas de utilizar un controlador proporcional, más integral, más derivado?*

La acción proporcional responde al tamaño o magnitud del error. La acción integral elimina la compensación en respuesta a la longitud del tiempo en que el error está presente. La acción derivada responde a la velocidad de cambio del error lo cual minimiza el efecto de un error mayor y acelera la acción correctiva.

2. *¿Con los mismos estados integral y derivado, qué cambio se produce en el integral y en la acción derivada cuando se incrementa la ganancia del controlador?*

Incrementando la ganancia del controlador se incrementa tanto la acción integral como la acción derivada del Controlador.

3. *¿Puede afectarse la acción integral de un controlador PID cuando se hace un ajuste en el estado derivado?*

Sí. Al incrementar la acción derivada se origina una reducción en la acción integral del controlador.

**PRESUPUESTO
DE INSTALACIÓN
DEL
LABORATORIO
DE CONTROL
DE PROCESOS**

PRESUPUESTO DE INSTALACION
LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESO INDUSTRIALES

RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. USD	P. TOTAL USD
OBRA GRIS				
Estructura de hormigón armado	m ²	66,00	50,00	3.300,00
Manposteriorias	m ²	66,00	20,00	1.320,00
Instalaciones eléctricas y sanitarias	m ²	66,00	7,00	462,00
				5.082,00

ACABADOS				
Recubrimientos	m ²	66,00	20,00	1.320,00
Instalaciones eléctricas, telefónicas e hidrosanitarias	m ²	66,00	10,00	660,00
Carpintería metálica y de madera	m ²	66,00	12,00	792,00
Aire comprimido	m ²	66,00	25,00	1.650,00
				4.422,00

EQUIPO Y MOBILIARIO				
Módulo didactico de control de nivel	u	1	12.523,17	12.523,17
Módulo didactico de control de presión	u	1	12.323,29	12.323,29
Módulo didactico de control de flujo	u	1	12.760,00	12.760,00
Módulo didactico de control de temperatura	u	1	10617,41	12.323,29
Banco de pruebas	u	1	2.560,25	2.560,25
Mesa individual con silla	u	12	25,00	300,00
Taburetes	u	12	15,00	180,00
Escritorio con silla	u	1	150,00	150,00
Computadora	u	1	1.250,00	1.250,00
Impresora	u	1	150,00	150,00
Proyector Infocus	u	1	3.250,00	3.250,00
Pantalla para proyección	u	1	56,00	56,00
Mesa para computadora	u	1	60,00	60,00
Mesa para proyector	u	1	40,00	40,00
Pizarrón para tiza líquida	u	1	80,00	80,00
				58.006,00

VALOR TOTAL \$ USD	67.510,00
---------------------------	------------------