

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PILOTO DE LABORATORIO PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS EN LA ASIGNATURA CONTROL DE
PROCESOS QUÍMICOS**

**CLAUDIA MARCELA BONILLA PIMIENTO
ASTRID CAROLINA PLATA VALDIVIESO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PILOTO DE LABORATORIO PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS EN LA ASIGNATURA CONTROL DE
PROCESOS QUÍMICOS**

**CLAUDIA MARCELA BONILLA PIMIENTO
ASTRID CAROLINA PLATA VALDIVIESO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial
para obtener el título de Ingeniero Químico**

Director

CARLOS JESÚS MUVDI NOVA

Ingeniero Químico. Ph.D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

*A Dios,
porque me ilumino en cada paso que
di, para llegar hasta aquí.*

*A mi papá,
que se ha sacrificado toda la vida por
darme solo lo mejor,
y por el apoyo incondicional que me
ha brindado siempre.*

*A mi mamá,
por enseñarme que las cosas buenas
se consiguen con trabajo duro y
honesto,
que siempre ha estado a mi lado
cuando la he necesitado.*

*A mi hermano,
que con sus constantes bromas y
chistes siempre me mostro su apoyo.*

CLAUDIA MARCELA

*A Dios,
por darme la fortaleza para superar
cada obstáculo.*

*A mi padre,
por sus enseñanzas, por todo el amor
que me brindó y por haberme
formado como persona, aunque ya no
estés presente este triunfo es tuyo.*

*A mi familia y a mi novio,
por ser un apoyo incondicional en mi
vida, por creer en mí y por cada
palabra de aliento en los momentos
difíciles.*

ASTRID

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Al doctor Carlos Jesús Muvdi Nova, por su orientación y sus valiosos aportes al proyecto de grado.

A la Escuela de Ingeniería Química, la Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas y la Vicerrectoría Académica, por el aporte económico brindado.

Al Departamento de Mantenimiento tecnológico, en especial al señor Pedro Caldas, por su colaboración y contribución en el área de electrónica, que constituyó una pieza fundamental en el desarrollo del proyecto.

Al señor Nelson Javier Pimiento Niño, por toda su colaboración en el montaje del proyecto.

A los señores Eduardo Carreño y Wilson Carreño, del Laboratorio de Procesos de Ingeniería Química, por todos los favores brindados.

A familiares y amigos, por su apoyo y colaboración incondicional, durante el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	17
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo general.....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 DESCRIPCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.3 IMPACTO ESPERADO.....	18
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	19
2.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	19
2.2 CONTROL DE PROCESOS QUÍMICOS.....	20
2.2.1 Clasificación de los sistemas de control.....	21
2.2.1.1 Según la intervención del controlador.....	21
2.2.1.2 Según su función.....	21
2.2.2 Estrategias de control.....	22
2.2.2.1 Control por retroalimentación discontinuo (Control <i>on-off</i>).....	22
2.2.2.2 Control por retroalimentación en continuo (Control <i>feedback</i>).....	22
2.2.3 Función de transferencia.....	22

3. METODOLOGÍA.....	23
3.1 DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE IMPLEMENTAR PRÁCTICAS EN LA ASIGNATURA CONTROL DE PROCESOS QUÍMICOS.....	23
3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PILOTO DE LABORATORIO.....	24
3.2.1 Descripción del piloto.....	25
3.3 VALIDACIÓN DE LAS PRÁCTICAS.....	28
3.4 REDACCIÓN DE UN MANUAL GUÍA DEL PILOTO.....	28
3.4.1 Contenido del manual: Unidades o secciones.....	29
3.4.1.1 Parte I: Guía de utilización del piloto.....	29
3.4.1.2 Parte II: Conceptos fundamentales y circuito en lazo abierto.....	30
3.4.1.3 Parte III: Circuito en lazo cerrado y elementos de control.....	34
4. CONCLUSIONES.....	39
5. RECOMENDACIONES.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXOS.....	43

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fotografía del piloto de laboratorio.....	26
Tabla 1. Tanques que forman parte del piloto de laboratorio.....	27
Tabla 2. Tubería presente en el piloto de laboratorio.....	27
Tabla 3. Elementos de control que componen el piloto de laboratorio.....	28

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Formato de consulta de opinión.....	43
Anexo B. Resultados de la encuesta.....	46
Anexo C. Manual de usuario.....	55

RESUMEN

TÍTULO: Diseño y construcción de un piloto de laboratorio para la implementación de prácticas en la asignatura Control de Procesos Químicos.*

AUTORES: Bonilla Pimiento, Claudia Marcela; Plata Valdivieso, Astrid Carolina**

PALABRAS CLAVE: Piloto de laboratorio, prácticas de laboratorio, control de procesos químicos, control por retroalimentación.

DESCRIPCIÓN:

Se diseñó y construyó un piloto de laboratorio para la realización de prácticas de la asignatura control de procesos químicos, con el fin de proporcionar al estudiante una concepción real de los conocimientos adquiridos en el aula de clase y una ayuda visual que le facilite su proceso de aprendizaje.

El piloto en cuestión está constituido por dos lazos de control por retroalimentación, cuya función consiste en regular las variables temperatura y nivel en un tanque agitado.

Como complemento adicional, el piloto viene acompañado de un manual guía cuyo contenido incluye las prácticas de laboratorio que pueden realizarse a partir del mismo y la temática requerida para la realización de los experimentos propuestos. Está redactado con un lenguaje sencillo de fácil comprensión para el estudiante y provee una descripción detallada del piloto acompañado de un instructivo de uso en el que se incluyen las normas de seguridad a tener en cuenta a la hora de utilizarlo.

El contenido, tanto teórico como experimental del manual guía, se desarrolló con base en las temáticas propuestas en el programa de la asignatura, para ello se contó con el apoyo y colaboración del director de la materia, y se realizó un estudio para conocer los conceptos que más se le dificultan a los estudiantes. Lo anterior para garantizar que se le de uso a la herramienta y que tanto estudiantes como profesores la aprovechen al máximo.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Carlos Jesús Muvdi Nova Ph.D

ABSTRACT

TITLE: Design and build of a laboratory pilot for the implementation of practical classes in the subject Control of Chemical Process.*

AUTHORS: Bonilla Pimiento, Claudia Marcela; Plata Valdivieso, Astrid Carolina**

KEYWORDS: Laboratory pilot, laboratory practical, control of chemical process, feedback control.

DESCRIPTION:

A laboratory pilot was designed and built to do laboratory practices in the subject Control of Chemical Process, with the purpose of provide a real vision of the knowledge learned in class and a visual tool to make easier the learning process to the student.

The mentioned pilot has two feedback control ties, which regulate the variables temperature and a shaken tank's level.

As additional material, the pilot comes with a guide manual that contains laboratory practices that can be done from the manual itself and the required topics for the fulfillment of the proposed experiments. It's written in a simple language for an easy understanding for the student, and it also gives a detailed description of the pilot and one instructive of use in which is included the safety rules to handle it.

The content, both theoretical and experimental of the guide manual, was developed in base on the thematic proposal in the subject program. To achieve this, the project has the support and collaboration of the subject director, and a study was made to know the concepts that the students considered difficult. Above to ensure that the tool will be used, and both professors and students could take full advantage of it.

*Graduation project.

** Engineering Physical-Chemical Faculty. Chemical Engineering school. Director Carlos Jesús Muvdi Nova Ph.D.

INTRODUCCIÓN

El control de procesos es una disciplina que está íntimamente ligada a la industria química, ocupándose de la selección y de la aplicación de técnicas para la operación segura y eficiente de las plantas de proceso.

Debido a su importancia en la formación del ingeniero químico, el Control de Procesos Químicos es una asignatura troncal en el pensum de la carrera y es cursada durante los últimos niveles del pregrado, pues requiere de conocimientos de las ciencias básicas y de los principios de la ingeniería para ser abordada con éxito.

La Escuela de Ingeniería Química, está en la búsqueda constante de una estrategia que permita desarrollar complementos prácticos simultáneamente con el contenido teórico de las asignaturas, esto con el fin de afianzar los conocimientos por medio de la experimentación. Sin embargo, este objetivo no ha sido cumplido en la mayoría de las materias por falta de recursos.

La asignatura; Control de Procesos Químicos no es la excepción, carece de clases prácticas y de material didáctico.

Para dar solución a los inconvenientes ya mencionados, el presente proyecto, propone la implementación de prácticas en la asignatura de Control de Procesos Químicos, mediante la construcción de un piloto de laboratorio.

Como complemento del piloto, se suministra un manual guía, cuyo contenido abarca las prácticas a desarrollar, un marco teórico resumido de las temáticas necesarias para el desarrollo de los experimentos propuestos, y la descripción del piloto con sus instrucciones de uso.

Se espera por tanto que el proyecto sea de gran ayuda para el estudiante durante su proceso de aprendizaje, dándole una concepción más clara de la asignatura y permitiendo la integración de los conceptos a través de la práctica.

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general:

Implementar clases prácticas en la materia Control de Procesos Químicos a través de la construcción de un piloto laboratorio de control por retroalimentación de temperatura.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Proponer una estrategia de aprendizaje a través de la experimentación, basándose en la aplicación de los conceptos relevantes que se utilizan en el control automático de procesos.
- Familiarizar al estudiante con un proceso real, simultáneamente al desarrollo del programa de la asignatura en el aula de clase.
- Desarrollar un texto guía para los estudiantes, que incluya las temáticas fundamentales de la asignatura, las prácticas propuestas para cada tópico y un manual de usuario para la utilización del piloto.
- Complementar las instalaciones de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química, con la implementación de un piloto, enfocado directamente a la enseñanza en control de procesos.

1.2 DESCRIPCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Escuela de Ingeniería Química en su interés de proponer un programa más acorde con las necesidades actuales de la sociedad, planteó hace algunos años una reforma en el plan de estudios, en donde se promueve el desarrollo de clases prácticas simultáneas a los contenidos teóricos de las asignaturas de la carrera, sin embargo la falta de recursos no ha permitido que esto se lleve a cabo.

Actualmente, se cuenta con un solo laboratorio que se cursa culminando los estudios, y a pesar de que las prácticas están basadas en procesos industriales actuales; que son de gran utilidad en el campo laboral de ingeniería química, ninguna de ellas está relacionada directamente con la asignatura de Control de Procesos Químicos.

Debido a que el control de procesos es una disciplina fundamental en la formación del ingeniero químico, se hace necesario fortalecer a los estudiantes en este campo, y los conocimientos teóricos no son suficientes.

1.3 IMPACTO ESPERADO

Una vez finalizado el proyecto, se espera que éste sea de gran ayuda en el proceso enseñanza-aprendizaje proporcionando una ayuda didáctica durante el curso.

Familiarizar a los estudiantes con un proceso real, ayudándoles a adquirir destreza en el manejo de los instrumentos utilizados en el control de procesos y a aclarar conceptos y definiciones básicas del curso a través de la experimentación.

Adicionalmente, se espera que los contenidos tanto teóricos como prácticos del manual sean adoptados por los docentes de la asignatura Control de Procesos Químicos como parte del programa de la misma, y que el proyecto en su totalidad sea aprovechado al máximo por estudiantes y profesores.

Se espera contribuir de manera significativa con el aprendizaje de la materia Control de Procesos Químicos.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Un piloto de laboratorio, es la representación de un proceso a escala reducida. En la mayoría de las ocasiones, su finalidad es la de obtener información sobre el comportamiento de un determinado proceso físico o químico, que permite determinar si el proceso es técnicamente viable, además de establecer parámetros óptimos de operación, para la construcción de dicho proceso a una escala superior.

Entre las principales aplicaciones de los pilotos de laboratorio, se encuentran la realización de investigaciones de nuevos procesos físico-químicos, el mejoramiento de procesos ya existentes, y adicionalmente se utilizan como equipamiento científico, para educación en universidades o sistemas para demostraciones.

El presente proyecto, utiliza un piloto de laboratorio como herramienta de aprendizaje a través de la experimentación, que permita a los estudiantes de la asignatura Control de Procesos Químicos, integrar los conceptos adquiridos en el aula de clase, mediante la práctica.

2.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES:

Un proceso es la transformación materias primas a partir de cambios físicos y químicos, con el fin de obtener un resultado final o producto terminado. El control de procesos es el medio por el cual se controla el comportamiento dinámico de un determinado proceso.

Cada proceso incluye uno o más factores físicos y químicos que pueden ser controlados; éstos son conocidos como variables, y es a partir de éstas, que puede controlarse un proceso.

Un sistema se define como un grupo de componentes que, en conjunto, realizan una tarea específica. Por lo tanto, para que un dispositivo pueda clasificarse como sistema, debe cumplir los dos criterios: debe tener más de dos componentes, y éstos deben trabajar juntos para lograr una tarea específica.

Los sistemas de control tienen como objetivo mantener fijo el valor de las variables más relevantes de determinado proceso, su importancia radica en que, de ello dependerá la calidad, la tasa de producción y la seguridad del personal, del proceso mismo y de los equipos.

Para familiarizarse más con la terminología utilizada en el campo de control automático de procesos, se definen a continuación las variables a identificar en todo sistema:

- **Variable controlada:** variable que permite mantener al proceso bajo condiciones deseadas.
- **Punto de control (*set-point*):** es el valor en que se desea mantener la variable controlada.
- **Variable manipulada:** variables que puede modificarse para mantener la variable controlada en el punto de control.
- **Variable perturbadora:** es la responsable de la perturbación del proceso.

2.2 CONTROL DE PROCESOS QUÍMICOS:

Los sistemas de control tienen como objetivo mantener fijo el valor de las variables más importantes de un determinado proceso, es decir, controlar su comportamiento; ya que de ellas depende la calidad, la tasa de producción y la seguridad del personal, del proceso mismo y de los equipos.

Todo sistema de control consta de tres acciones fundamentales, cada una de estas realizada por un elemento:

- **Medición:** se mide la variable.
- **Decisión:** se determina la acción correctiva a realizar para ajustar la variable, en base a la medición.
- **Acción:** se ejecuta la acción correctiva.

El sensor-transmisor, mide el factor a controlar y transmite una señal al controlador, dispositivo que se encargará de coordinar el funcionamiento del mecanismo de control; tomando la decisión adecuada para ajustar la variable al valor deseado, mediante un elemento final de control que ejecutará finalmente la acción correctiva.

2.2.1 Clasificación de los sistemas de control:

2.2.1.1 Según la intervención del controlador:

- **Circuito abierto o lazo abierto:** Situación en la que el controlador no interviene en el sistema, y por tanto no ajusta automáticamente la variable de proceso. En estos casos se dice que el controlador está en modo manual.
- **Circuito cerrado o lazo cerrado:** Sistema en el que el controlador está presente, realizando su acción correctiva, se dice que el controlador está en modo automático.

2.2.1.2 Según su función:

- **Control regulador:** Busca mantener las variables de proceso en el *set-point*.
- **Servocontrol:** Se utiliza para controlar sistemas en los que el *set-point* de la variable de proceso varía en función del tiempo.

2.2.2 Estrategias de control:

Existen diversas estrategias de control que son utilizadas en la industria química (control de razón, cascada, predictivo, etc.), sin embargo el control por retroalimentación constituye una de las más importantes y de mayor aplicación en el campo ingenieril.

A continuación se describen las estrategias de control presentes en el piloto de laboratorio:

2.2.2.1 Control por retroalimentación discontinuo (Control *on-off*):

El controlador permite la ejecución de toda la variable manipulada, o no permite que se manifieste en ningún aspecto. Se caracteriza porque su salida solo puede cambiar a dos posiciones igual que un interruptor. El sistema de control no lleva a la variable al *set-point* sino a un intervalo, que se conoce como zona muerta. Para el piloto objeto de este trabajo, éste sistema se encuentra implementado en el control de nivel.

2.2.2.2 Control por retroalimentación en continuo (Control *feedback*):

Se toma el valor de la variable controlada y se retroalimenta al controlador para que éste pueda tomar una decisión, todas estas actividades se realizan en forma continua. En el piloto; esta estrategia se encuentra en el control de temperatura.

2.2.3 Función de transferencia:

Define como está relacionada la variable de salida con la variable de entrada. En estas funciones se encuentran los parámetros llamados ganancias, que definen la personalidad del proceso y que resultan claves en el diseño del sistema de control.

3. METODOLOGÍA

3.1 DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE IMPLEMENTAR PRÁCTICAS EN LA ASIGNATURA CONTROL DE PROCESOS QUÍMICOS.

Para evidenciar la necesidad de incluir clases experimentales en el curso Control de Procesos Químicos, se realizó una encuesta a los estudiantes que se encontraban cursando la asignatura. En ésta se plantearon preguntas dirigidas a todos los estudiantes, y unas diseñadas exclusivamente para que fueran contestadas por aquellos que habían visto la materia por lo menos una vez.¹

A través de la encuesta se evidencia que la mayoría de los estudiantes no han tenido la oportunidad de realizar una práctica de laboratorio durante los primeros 7 semestres de la carrera; el 53% de la población de estudiantes no repitentes, y el 42% de estudiantes repitentes (Equivalen a 56 estudiantes). Teniendo en cuenta este hecho, se puede concluir que el número de estudiantes que tienen acceso a clases prácticas; es muy pequeño, por lo que se considera necesario implementarlas a las asignaturas, para formar profesionales integrales.

La encuesta permitió conocer el interés de los estudiantes en complementar su formación teórica a través de prácticas. Además, la mayoría de los estudiantes consideran que el aprendizaje es más fácil a través de los diversos soportes educativos a los que tiene acceso (Libros, internet, prácticas de laboratorio y materiales educativos computarizados).

¹ Para más información acerca del modelo de la encuesta realizada, consultar el Anexo A.

La encuesta revela que la mayoría de los estudiantes; el 91% de los estudiantes repitentes y el 100% de los que no lo son (109 encuestados), asisten a todas las actividades programadas para el enriquecimiento de la materia; y que estarían dispuestos a dedicarle a las prácticas de laboratorio aproximadamente de 2 a 4 horas a la semana.

Una de las razones fundamentales para la realización del proyecto, fue motivar a los estudiantes en su proceso de aprendizaje; ya que la mayoría de los repitentes (98% de los encuestados) opinan que si hubieran tenido un acompañamiento practico al par del aprendizaje teórico, se habrían obtenido mejores resultados.²

3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PILOTO DE LABORATORIO

Inicialmente, se desarrolló un estudio preliminar del proyecto, en donde se evaluó la posibilidad de implementar un piloto de laboratorio que facilitara el aprendizaje en la asignatura Control de Procesos Químicos.

El siguiente paso, consistió en realizar el diseño del piloto, para lo que se tuvieron en cuenta tres factores fundamentales:

- ✓ Los sistemas y estrategias de control presentes en el piloto, debían ajustarse a las temáticas estudiadas en el programa de la asignatura.
- ✓ Los elementos que conformarían el piloto, debían ser asequibles, y de fácil manejo a la hora de su instalación y utilización.
- ✓ El proyecto debía ser viable económicamente, para garantizar éxito durante la búsqueda de recursos.

² Para apreciar los resultados de la encuesta, consultar el Anexo B.

A partir del diseño del piloto se elaboró una propuesta detallada del proyecto, con el fin de hallar recursos para llevarlo a cabo. Se contó con el apoyo económico de tres unidades académicas: la Escuela de Ingeniería Química, la Facultad de Ingenierías Físicoquímicas y la Vicerrectoría Académica, quienes aportaron las cantidades de \$1.400.000, \$1.000.000 y \$1.500.000 respectivamente.

Una vez adquiridos los equipos e instrumentos necesarios, se procedió a realizar el montaje del piloto. Esta tarea puede dividirse en tres áreas de trabajo fundamentales:

- 1) Lazo de control por retroalimentación de temperatura en el tanque principal.
- 2) Lazo de control *on/off* de nivel en el tanque principal.
- 3) Instalación de tuberías, accesorios y acoples.

Para el desarrollo de las labores anteriormente descritas, se contó con el apoyo del personal del departamento de mantenimiento tecnológico, quienes brindaron una valiosa colaboración en las áreas de electrónica y mecánica.

3.2.1 Descripción del piloto

La Figura 1 muestra el piloto de laboratorio implementado. Dicho piloto consta de un tanque principal, en el que circula agua a temperatura ambiente. Ésta se lleva a la temperatura deseada por medio de una resistencia de calentamiento inmersa, que trabaja a 110 V.

El agua que se alimenta al sistema, a través de tubería de acero galvanizado; parte del tanque de alimentación, en éste, el nivel de agua permanece siempre a una altura constante, con el fin de garantizar que el flujo que se alimenta al tanque principal sea el mismo durante toda la duración de la práctica.

El tanque de recepción, se encarga de recolectar el agua que proviene del tanque principal.

El piloto cuenta con dos sistemas de control, que se encargan de mantener reguladas las variables temperatura y nivel del líquido en el tanque principal:

- El sistema de control encargado de regular la temperatura del agua en el tanque principal, está constituido por un lazo de control por retroalimentación, cuya variable manipulada es la cantidad de corriente a la cual trabaja la resistencia de calentamiento (el elemento final de control, para este lazo). El lazo de control inicia cuando la termocupla Tipo J, inmersa en el termopozo, mide la temperatura del agua, ésta envía una señal al controlador *AUTONICS TZ4M24C*, el cual se encarga de decidir si la corriente que está recibiendo la resistencia es la adecuada. El controlador, envía la señal a un “variador de potencia de estado sólido *OPI48P25*” que permite variar la energía suministrada a la resistencia.

Figura 1. Fotografía del piloto de laboratorio.



Fuente: Los autores.

- El segundo sistema de control, se encarga de mantener fijo el nivel en el tanque principal. El sensor de nivel es un “Porto electrodo triple 53703”, que está constituido por tres varillas de acero inoxidable encargadas de fijar los límites que el agua no debe sobrepasar. Éste envía una señal que indica al controlador: “Control de nivel MAC 53200”, en dónde se encuentra el nivel del agua.
- Posteriormente, el controlador decide si el flujo de agua debe continuar o cesar. Una vez la decisión ha sido tomada, es enviada a la “Válvula solenoide 91138”, para que ésta ejecute la acción correctiva. Es decir, si el nivel del tanque pasa el límite superior, el sensor envía esta información al controlador, que ordena a la válvula cerrarse, para completar el lazo, y lo contrario, en el caso que el agua este por debajo del límite inferior.

Adicional a esto, el lazo de control cuenta con una alarma que hace que la resistencia se apague si los niveles de agua en el tanque no son los adecuados, evitando con esto, que ocurra cualquier accidente.

A continuación en las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los elementos presentes en el piloto con sus respectivas dimensiones y materiales de construcción.

Tabla 1. Tanques que forman parte del piloto de laboratorio.

<i>Tanque</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Altura</i>	<i>Capacidad</i>	<i>Material</i>
Tanque principal	27 cm	35,5 cm	20 L	Acero inoxidable; calibre 16
Tanque de alimentación	38 cm	26 cm	25 L	Aluminio
Tanque de recepción	38 cm	26 cm	25 L	Aluminio

Fuente: Los autores

Tabla 2. Tubería presente en el piloto de laboratorio.

<i>Tubería</i>	<i>Longitud</i>	<i>Diámetro interno</i>
Tubería de acero galvanizado	49 cm	3/8 in
Tubería de acero galvanizado	57 cm	1/2 in

Fuente: Los autores

Tabla 3. Elementos de control que componen el piloto de laboratorio.

<i>Elemento</i>	<i>Referencia</i>	<i>Función</i>
Termocupla	Tipo J	Medir la temperatura del agua en el tanque principal.
Control <i>AUTONICS</i>	TZ4M24C	Controla la temperatura del agua en el tanque principal, manipulando el voltaje suministrado a la resistencia mediante un variador de potencia.
Variador de potencia estado solido	OPI48P25	Modifica el voltaje que se administra a la resistencia, según la orden del controlador
Resistencia de Calentamiento	110 V	Se encarga de proporcionar al agua el calor indicado por el controlador.
Porto electrodo triple	53703	Medir el nivel de agua en el tanque principal.
Control de nivel MAC	53200	Controlar el nivel de agua en el tanque principal, modificando el flujo de entrada de agua al tanque.
Válvula solenoide	91138	Válvula normalmente cerrada, encargada de modificar el flujo de agua de alimentación al tanque principal.

Fuente: Los autores

3.3 VALIDACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Para la proposición de las prácticas que van a realizar los estudiantes, fue necesario realizar una serie de pruebas, con el fin de garantizar la viabilidad y reproducibilidad de los experimentos formulados.

Adicionalmente se establecieron a partir de los resultados obtenidos, las mejores condiciones de operación de acuerdo a la seguridad, tanto de los estudiantes como de los equipos presentes en el piloto.

Los resultados experimentales obtenidos no se presentan en este documento, ya que las prácticas serán objeto de trabajo por parte de los estudiantes.

3.4 REDACCIÓN DE UN MANUAL GUÍA DEL PILOTO

El texto redactado como guía para complementar el piloto, contiene 8 prácticas propuestas divididas por temas en secciones, cada sección tiene un marco teórico

desarrollado con los fundamentos necesarios para realizar los experimentos propuestos.

Además de las unidades ya mencionadas, el manual incluye en su contenido una serie de normas de seguridad a tener en cuenta a la hora de realizar las prácticas y está dotado de un instructivo, cuyo objetivo es dar a conocer a los usuarios las características y las formas de funcionamiento del piloto.³

3.4.1 Contenido del manual: Unidades o secciones

3.4.1.1 Parte I: Guía de utilización del piloto

✓ Normas de seguridad

El manual está dotado de una guía de trabajo seguro, que presenta de forma clara y ordenada, una serie de recomendaciones que es necesario seguir a la hora de realizar las prácticas propuestas. También enumera las reglas que deberán cumplirse a cabalidad, con el fin de evitar accidentes durante la utilización del piloto.

Con ello se pretende concientizar al usuario, proporcionándole un modelo de comportamiento que implica, desde adoptar una conducta responsable en el área de trabajo, hasta vestir adecuadamente, utilizando los elementos de protección requeridos durante el desarrollo de los experimentos.

Como complemento, se adiciona a la guía un breve análisis de los riesgos a los que el usuario está expuesto durante la manipulación del piloto de laboratorio, y con ellos las posibles acciones a realizar en caso de una emergencia ya sea que se trate de un accidente personal o global.

³ Para más información acerca del manual de usuario, consultar el Anexo c.

✓ ***Descripción general del piloto***

El manual de usuario cuenta con una parte dedicada a la descripción del piloto. En ésta, se describen cada una de las partes del piloto, en qué consisten los lazos de control presentes, el tipo de material empleado para la fabricación de los elementos, y cómo fueron acoplados para llevar a cabo el montaje.

✓ ***Funcionamiento del piloto***

El manual contiene una sección dedicada al funcionamiento del piloto, en ésta se explica a los estudiantes como deben encender, poner en marcha, realizar las prácticas y apagar el piloto. Fue redactada de manera clara y sencilla, para facilitar la actividad del estudiante y para resolver algunas de las dudas acerca de su utilización.

3.4.1.2 Parte II: Conceptos fundamentales y circuito en lazo abierto

✓ ***Marco teórico***

En esta sección del manual, se presenta al estudiante una introducción al control de procesos, donde se explican los conceptos fundamentales necesarios para la comprensión de la asignatura y se le proporciona al lector información útil para el desarrollo de las prácticas propuestas en la guía.

Además, se definen los sistemas dinámicos de primer orden y se exponen las herramientas claves para el modelado de los mismos, esto con el fin de capacitar al estudiante para representar los sistemas presentes en el piloto.

✓ **Prácticas propuestas**

Para la sección de conceptos fundamentales y circuitos en lazo abierto, se proponen cinco prácticas; cada una de éstas se establecieron planteando competencias y logros:³

1. Título: Introducción al piloto de laboratorio

Esta práctica tiene como objetivo presentar a los estudiantes el piloto de control, sus partes y su funcionamiento, de manera que ellos estén en capacidad de realizar las prácticas posteriores.

Para tal fin se realiza una actividad introductoria dirigida por el docente o persona encargada del grupo, que incluye desde la descripción de las normas de seguridad, hasta el reconocimiento de los sistemas de control presentes en el piloto.

- Competencias

- ❖ El estudiante conoce y aplica las normas de seguridad necesarias para trabajar en el laboratorio.
- ❖ El estudiante reconoce e identifica los elementos que se encuentran en el piloto de laboratorio; y comprende su funcionamiento.

- Logros

- Identifica los riesgos asociados con el manejo del piloto de laboratorio de control de procesos.
- Sabe cuáles son los implementos y el vestuario adecuado que debe utilizar en un laboratorio.
- Es consciente de la existencia del peligro, sabe cómo evitarlo, y en el caso que se presente como afrontarlo.

³ Para más información acerca del manual de usuario, consultar el Anexo c.

- Conoce la ubicación de los elementos de seguridad como son extintores, rutas de evacuación, salidas de emergencia, teléfonos de emergencia, etc.
- Está familiarizado con el piloto de laboratorio de control de procesos, y con cada una de sus partes, sabe manipularlo y está en capacidad de realizar las prácticas.
- Entiende los conceptos básicos del control de procesos.

2. Título: Lazo abierto. Influencia de la Temperatura de alimentación

Con esta práctica se busca que el estudiante entienda la influencia que tiene la temperatura de alimentación en la respuesta del proceso, para tal fin, se propone operar el sistema en lazo abierto a tres valores diferentes de dicha variable manteniendo el mismo flujo, y registrar los datos de temperatura del tanque principal en el tiempo hasta su estabilización. A partir de los resultados obtenidos, el estudiante deberá realizar un análisis completo, sacar sus propias conclusiones y compararlas con la literatura.

- Competencias

- ❖ El estudiante comprende la influencia de la temperatura de alimentación en la personalidad del proceso.

- Logros

- Está en capacidad de realizar el balance de masa y energía del proceso.
- Conoce los conceptos ganancia y constante de tiempo, y por tanto los identifica sin dificultad en un proceso.
- Entiende la influencia de la variable temperatura de alimentación en la respuesta del proceso y en la temperatura de estabilización.
- Tiene los conocimientos para realizar un análisis de resultados a partir de los resultados obtenidos.

3. Título: Lazo abierto. Influencia del flujo

Esta práctica tiene como objetivo hacer que el estudiante comprenda la influencia del flujo en la dinámica del proceso. El procedimiento consiste en operar el sistema en lazo abierto a tres valores distintos de flujo manteniendo la temperatura de alimentación constante, posteriormente se pide al estudiante que registre los datos de temperatura del tanque principal en el tiempo y finalmente se requiere que este haga un análisis de resultados y compare sus respuestas con lo que reporta la literatura.

- Competencias

❖ El estudiante comprende la influencia del flujo en la dinámica del proceso.

- Logros

- Está en capacidad de evaluar el comportamiento del sistema a través de los conocimientos teóricos.
- Sabe identificar los cambios en las constantes ganancia y constante de tiempo a través del comportamiento del sistema.
- Deduce el comportamiento del sistema en condiciones límite, de acuerdo con los resultados obtenidos.
- Tiene los conocimientos para realizar un análisis de resultados a partir de los resultados obtenidos.

4. Título: Lazo abierto. Influencia del volumen en el tanque principal

Esta práctica tiene como objetivo hacer que el estudiante comprenda la influencia que tiene la capacidad del tanque principal en la dinámica del proceso, para ello se propone realizar dos experimentos, haciendo operar el sistema en lazo abierto a diferentes medidas de volumen. Asimismo, se pide al estudiante que registre los datos de temperatura del tanque principal en el tiempo y finalmente se requiere que este haga un análisis de resultados y compare sus respuestas con lo que reporta la literatura.

- Competencias

❖ El estudiante comprende la influencia del volumen en el tanque principal; en la personalidad del proceso.

- Logros

- Manipula los elementos presentes en el control de nivel y conocer su funcionamiento.
- Está en capacidad de evaluar el comportamiento del sistema a través de los conocimientos teóricos.
- Sabe identificar los cambios en las constantes ganancia y constante de tiempo a través del comportamiento del sistema.
- Entiende la influencia de la variable volumen en el tanque principal, en la respuesta del proceso y en la temperatura de estabilización.
- Tiene los conocimientos para realizar un análisis de resultados a partir de los resultados obtenidos.

5. Título: Análisis de lazo abierto

Con la formulación de esta práctica se busca que el estudiante identifique las diferencias entre un sistema teórico y uno real. Para ello se propone un experimento que consiste en perturbar a través de la corriente un sistema estable y registrar a partir de ese momento la temperatura del tanque principal en el tiempo.

Paralelo al trabajo de laboratorio, los alumnos deben elaborar el modelo dinámico del proceso, encontrar las funciones de transferencia y el diagrama de bloques del mismo, y simular el proceso en la herramienta de *Matlab*: “*Simulink*”.

Finalmente los estudiantes tendrán la información suficiente para realizar un análisis comparativo entre la respuesta reportada en la simulación y los resultados experimentales.

- Competencias

- ❖ El estudiante debe saber cómo encontrar la función de transferencia de un sistema y estar en capacidad de representarlo en un diagrama de bloques.
- ❖ El estudiante debe comprender las diferencias existentes entre un sistema real y un sistema teórico.

- Logros

- Sabe reconocer una ecuación diferencial no lineal.
- Conoce los procedimientos matemáticos de linealización y transformada de *Laplace*, está en capacidad de aplicar dichos tratamientos a cualquier sistema.
- Entiende el comportamiento de una función de transferencia de primer orden.
- Entiende el significado físico de las constantes ganancia y constante de tiempo, las puede identificar en una función de transferencia.
- Conoce las reglas del algebra de bloques, y sabe cómo realizar un diagrama de bloques.
- Está en capacidad de representar cualquier proceso en la herramienta de *Matlab "Simulink"*.

3.4.1.3 Parte III: Circuito en lazo cerrado y elementos de control

✓ **Marco teórico**

En esta sección de la guía, se realiza una descripción del piloto, especificando los tipos y estrategias de control utilizados en el mismo. Además se listan los instrumentos presentes en los lazos de control que lo conforman y sus funciones respectivas, todo con el fin de familiarizar al estudiante con los elementos a los que posteriormente tendrán acceso en las prácticas propuestas en la guía.

✓ ***Prácticas propuestas:***

Las prácticas que se proponen en el manual para trabajar el piloto en circuito cerrado son:³

1. Título: Lazo cerrado. Modo proporcional

Esta práctica tiene como objetivo enseñar al estudiante el comportamiento de un sistema de control en modo proporcional, y la influencia que tiene la banda proporcional (BP) tanto en la respuesta del proceso como en el error en el estado estacionario.

El procedimiento, consiste en perturbar a través del *set-point* un sistema estable y registrar a partir de ese momento la temperatura del tanque principal en el tiempo. Dicho experimento se realiza utilizando tres valores distintos para la banda proporcional.

- Competencias

❖ El estudiante comprende el comportamiento de un sistema de control en modo proporcional y conoce su funcionamiento.

- Logros

- Conoce la ecuación que describe un controlador en modo proporcional.
- Está en capacidad de identificar los parámetros influyentes en un lazo de control que opera en modo proporcional.
- Conoce las ventajas y desventajas de este tipo de control.
- Tiene los conocimientos teóricos necesarios para evaluar el comportamiento del sistema.

³ Para más información acerca del manual de usuario, consultar el Anexo c.

2. Título: Lazo cerrado. Modo proporcional-integral

La presente práctica tiene como objetivo hacer que el estudiante comprenda; el comportamiento de un sistema de control en modo PI (proporcional-integral), las diferencias entre el modo P y el modo PI, y la influencia que tiene el tiempo de reajuste (I) tanto en la respuesta del proceso como en el error en estado estacionario.

El procedimiento, consiste en perturbar a través del *set-point* un sistema estable y registrar a partir de ese momento la temperatura del tanque principal en el tiempo. Dicho experimento se realiza utilizando tres valores distintos para el tiempo de reajuste (I).

- Competencias

- ❖ Comprende el comportamiento de un sistema de control en modo proporcional-integral y conoce su funcionamiento.

- Logros

- Conoce la ecuación que describe un controlador en modo proporcional-integral.
- Está en capacidad de identificar los parámetros influyentes en un lazo de control que opera en modo proporcional-integral.
- Conoce las ventajas y desventajas de este tipo de control.
- Tiene los conocimientos teóricos necesario para evaluar el comportamiento del sistema.

3. Lazo cerrado. Modo proporcional-integral-derivativo

Esta práctica tiene como objetivo hacer que el estudiante comprenda el comportamiento de un sistema de control PID (proporcional-integral-derivativo), y la influencia que tiene la rapidez de derivación (D) en el tiempo de estabilización del sistema.

El procedimiento, consiste en perturbar a través del *set-point* un sistema estable y registrar a partir de ese momento la temperatura del tanque principal en el tiempo. Dicho experimento se realiza utilizando tres valores distintos para la rapidez de derivación (D).

El estudiante, estará en capacidad de realizar un análisis comparativo, donde distinga y caracterice el comportamiento de un sistema en modo de control P (proporcional), PI (proporcional-integral) y PID (proporcional-integral-derivativo).

- Competencias

❖ Comprende el comportamiento de un sistema de control en modo proporcional-integral-derivativo y conoce su funcionamiento.

- Logros

- Conoce la ecuación que describe un controlador en modo proporcional-integral-derivativo.
- Está en capacidad de identificar los parámetros influyentes en un lazo de control que opera en modo proporcional-integral-derivativo.
- Conoce las ventajas y desventajas de este tipo de control.
- Tiene los conocimientos teóricos necesario para evaluar el comportamiento del sistema.

4. CONCLUSIONES

El proyecto, tuvo desde un principio gran aceptación por parte de la comunidad estudiantil, ya que las encuestas efectuadas mostraron que a su parecer, la implementación de clases prácticas en la asignatura sería de gran ayuda para mejorar su proceso de aprendizaje. Adicionalmente se contó con la colaboración de la Escuela de Ingeniería Química, la Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas y Vicerrectoría Académica, quienes brindaron apoyo económico para la construcción del piloto.

Las temáticas desarrolladas en el manual guía se basaron en el programa de la asignatura Control de Procesos Químicos; facilitando su integración como herramienta de apoyo en el proceso enseñanza-aprendizaje de la asignatura.

La estructura del texto guía está diseñada de manera que las prácticas puedan realizarse simultáneamente con el contenido de la cátedra, y que la teoría allí presentada sea de fácil entendimiento para los aprendices.

De las pruebas realizadas para la validación de las prácticas propuestas en la guía, se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que no solo se evidenció que estos son coherentes con la literatura, sino que también se comprobó que los experimentos son viables y reproducibles. Los resultados experimentales obtenidos no se presentan en este documento, ya que las prácticas serán objeto de trabajo por parte de los estudiantes.

5. RECOMENDACIONES

Para cumplir a cabalidad con los objetivos del proyecto, y aprovechar al máximo el piloto de control, se recomienda:

- ✓ Dar a conocer el piloto de laboratorio y su manual guía a los docentes encargados de la asignatura.
- ✓ Asegurar la disponibilidad y asequibilidad del manual guía del piloto, dotando al centro de estudios con varios ejemplares.
- ✓ Continuar con la implementación del piloto, de manera que este se convierta en parte del proceso evaluativo de la asignatura Control de Procesos Químicos.
- ✓ A los docentes desarrollar las prácticas propuestas, paralelamente al contenido de la asignatura y a los estudiantes, dar buen uso de la herramienta que se le brinda, utilizando el manual guía como orientador.
- ✓ Seguir los procedimientos establecidos en el manual para cada práctica, ya que las condiciones de operación fueron determinadas teniendo en cuenta la seguridad del estudiante y la integridad de los equipos presentes en el piloto.

Para mejorar y complementar piloto de control, se recomienda instalar un sistema de calentamiento adicional, a través del transporte continuo de aceite mineral caliente por un serpentín de cobre (los elementos ya fueron adquiridos con anterioridad); y proponer a partir de este sistema, prácticas adicionales de acuerdo con el programa de la asignatura.

BIBLIOGRAFÍA

SMITH, Carlos A. y CORRIPIO, Armando B. Control Automático de Procesos, teoría y práctica. 1 Ed. México: Editorial Limusa S.A. de C.V, 1991. 717 p.

LUYBEN, William L. Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers. 2 Ed. Estados Unidos: Editorial McGraw-Hill. 1996. 724p.

CREUS SOLÉ, Antonio. Instrumentación Industrial. 6 Ed. España: Editorial Maracombo S.A., 1997. 644p.

SIRA RAMÍREZ, Hebertt; MÁRQUEZ, Richard; RIVAS ECHEVERRÍA, Franklin y ORESTES LLANES Santiago. Control de procesos no lineales, linealización aproximada, extendida, exacta. 1 Ed. España: Editorial Pearson Education S.A, 2005. 360 p.

BÉLANGER, Pierre R. Control Engineering, a modern approach. 1 Ed. Estados Unidos: Saunders College Publishing, 1995. 479p.

CREUS SOLÉ, Antonio. Enciclopedia Productiva Vol. 16. Control de procesos industriales, criterios de implementación. 1 Ed. España: Editorial Marcombo, 1999. 140p.

KUO, Benjamin C. Automatic control Systems. 7 Ed. Estados Unidos: Editorial McGraw-Hill, 1995. 928p.

DOEBELIN, Ernest E. Sistemas de medición e instrumentación, diseño y aplicación. 5 Ed. México: Editorial McGraw-Hill, 2005. 990p.

SOISSON, Harold E. Instrumentación Industrial. 1 Ed. México: Limusa Noriega Editores, 2007. 558p.

DORANTES GONZALES, Dante Jorge; MANZANO HERRERA, Moisés; SANDOVAL BENÍTEZ, Guillermo Y VÁSQUEZ LÓPEZ, Virgilio. Automatización y control, prácticas de laboratorio. 1 Ed. México: Editorial McGraw-Hill, 2004. 276p.

GOULD, Leonard A. Chemical process control. 1Ed. Philippines: Editorial Addison-Wesley Publishing Company, 1969. 379p.

MANTILLA RIVERO, César Andrés. Planeación y montaje de una herramienta computacional destinada al aprendizaje del diseño de reactores. Bucaramanga, 2009. 33p. Trabajo de grafo (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.

PARADA MENDEZ, Germán Alberto y VERA CALDERON, Arthur Steven. Implementación de las prácticas de laboratorio para las materias de Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y Fenómenos de Transporte II para reforzar el nuevo plan académico de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2009. 157p. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.

ARENAS DE PULIDO, Helena y BAUTISTA ARDILA, Gerardo. Manual de laboratorio Química I y Química General. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. 1998. 73p.

RAMÍREZ MONTAÑEZ, Jesús, y RODRÍGUEZ ORDEÑEZ, Dora Cecilia. Manual de prácticas de laboratorio Química II. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. 2004. 105p.

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, Unidad de prevención de laboratorio. Normas básicas de seguridad en los laboratorios. Universidad CEU San Pablo. 1 Ed. España. 24. Disponible en internet: <http://coco.ecu.es/WebSPR>

ANEXO A

FOMATO DE LA CONSULTA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ASIGNATURA: CONTROL DE PROCESOS QUÍMICOS

ENCUESTA PARA DETERMINAR LA NECESIDAD DE IMPLEMENTAR PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA ASIGNATURA: “CONTROL DE PROCESOS QUÍMICOS”.

1. ¿Ha recibido clases prácticas en alguna materia de Ingeniería Química?
Si__ No__
1.1 Si es así, ¿En cuál? _____
2. ¿Considera necesario la implementación de clases prácticas en las materias de la carrera? Si__ No__
2.1 ¿Por qué? _____
3. ¿Cree que el aprendizaje teórico sobre un tema específico debe ir siempre acompañado de su parte experimental?
Si__ No__
4. ¿Se le facilita más el aprendizaje de nuevos conceptos y el refuerzo de los ya aprendidos; por medio de la realización de prácticas de laboratorio? Describa de 1 a 10 este efecto, siendo 1 la calificación más baja y 10 la más alta.

Efecto: ____
5. ¿Con qué frecuencia asiste a las clases y actividades programadas para el desarrollo de la asignatura?
 - a. Todas.
 - b. Una vez a la semana.
 - c. De dos a cinco veces al mes.
 - d. Solo asiste a los exámenes.

6. ¿Cuánto tiempo estaría dispuesto a dedicarle a la realización de prácticas en la semana, tenga en cuenta que esta sería una actividad extracurricular, es decir, se deben excluir las cuatro horas de clase teórica? (De la respuesta en número de horas) _____

7. En el aprendizaje de una asignatura es fundamental que el estudiante asista a las clases dictadas por el profesor, y que complemente lo aprendido en estas, buscando información en libros, internet, y materiales educativos computarizados; adicionalmente que aplique los conceptos aprendidos en diferentes experimentos. Califique de 1 a 4 las siguientes actividades según la frecuencia con las que usted las realiza, siendo:

1: Ninguna. 2: Algunas veces. 3: Frecuentemente.

4: Siempre.

___ Búsqueda de información en libros. ___ Búsqueda de información en internet.

___ Realización de experimentos para afianzar los conceptos aprendidos.

___ Empleo de MEC.

8. Califique de 1 a 5 la utilidad de los soportes educativos que se presentan a continuación, siendo:

1: Insuficiente. 2: Regular. 3: Bueno. 4: Muy bueno. 5: Excelente.

___ Visitas Técnicas ___ Simulaciones ___ Tutorías

___ MEC ___ Prácticas de laboratorio

9. ¿Es necesario el diseño de un manual; en el que se explique el funcionamiento del piloto construido (en el cual se van a desarrollar las prácticas); además de esto, los temas más relevantes de la asignatura y se propongan prácticas para afianzar los diferentes conceptos?

Si__ No__

- Conteste las siguientes preguntas, solo si usted está repitiendo la materia:

10. ¿Considera que la materia “Control de Procesos Químicos” es complicada?

Si__ No__

10.1 Si considera complicada la materia, ¿Qué conceptos o temáticas se le dificultan?_____

11. Califique de 1 a 10, siendo 1 la calificación más baja y 10 la más alta, el material bibliográfico de la asignatura al que usted tiene acceso en la universidad:

__Claridad. __Calidad. __Didáctico. __Disponibilidad.

12. ¿Cree que si hubiera tenido un acompañamiento práctico sobre algunos de los conceptos más importantes de la materia, se hubieran obtenido mejores resultados? Si__ No__

13. ¿Hay algún concepto o temática específica que considere que es necesario ver en una práctica de laboratorio? (Menciónelo)

ANEXO B

RESULTADOS DE LA ENCUESTA

La descripción del usuario, se representa en la siguiente tabla:

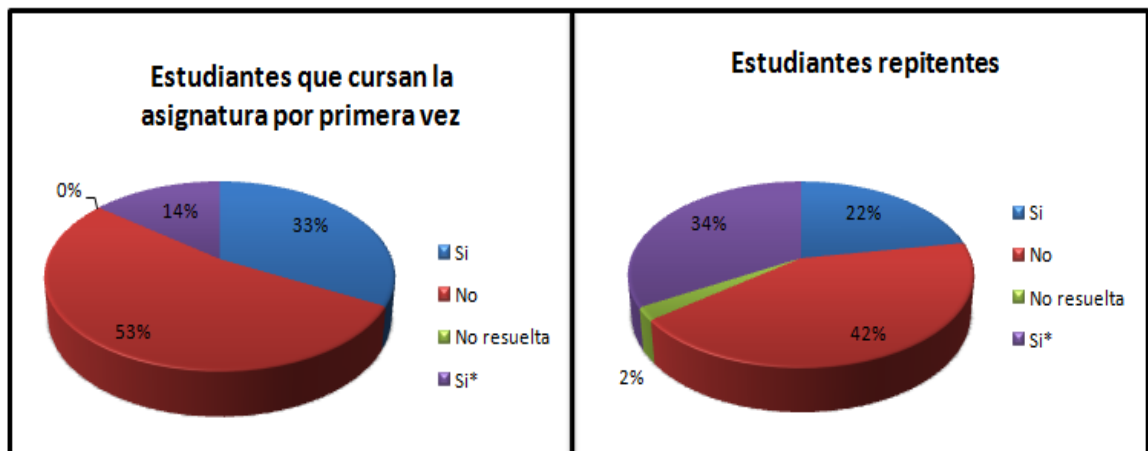
Tabla B-1. Descripción de los estudiantes que realizaron la encuesta.

		No. de estudiantes
General		142
Repitentes		56
No repitentes		86
Descartadas	Repitentes	13
	No repitentes	16
Total	A tener en cuenta	113
	Rechazados	29

Fuente: Los autores

1. ¿Ha recibido clases prácticas en alguna materia de Ingeniería Química?

Figura B-1. Respuestas a la pregunta No. 1

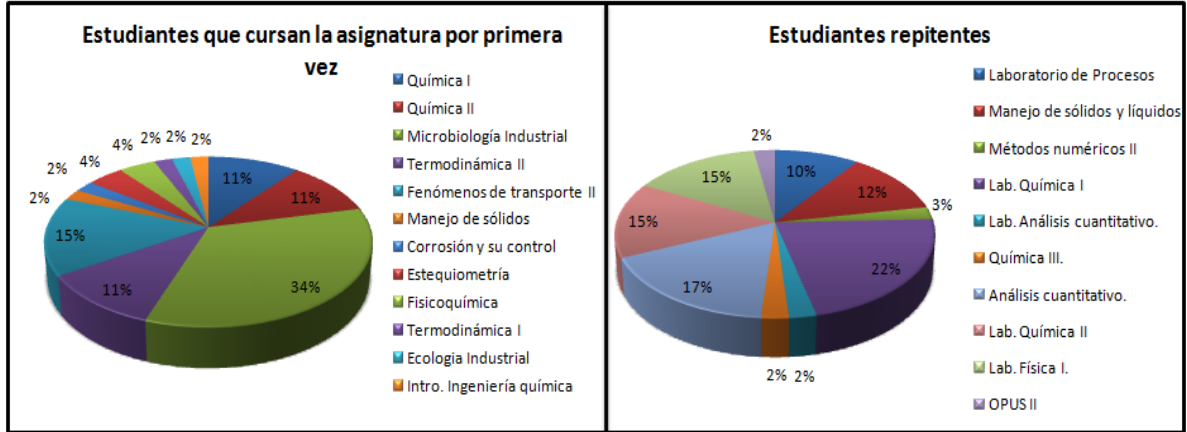


Fuente: Los autores

- ✓ Si*: Corresponde a asignaturas no dictadas por la escuela de Ingeniería Química.

1.1 ¿Ha recibido clases prácticas en alguna materia de Ingeniería Química?, Si es así, ¿En cuál?

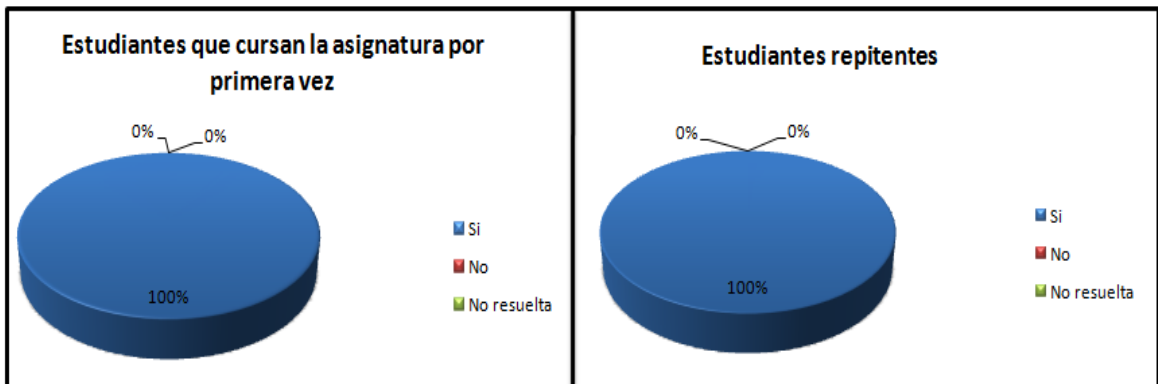
Figura B-2. Respuestas a la pregunta No. 1.1



Fuente: Los autores

2. ¿Considera necesario la implementación de clases prácticas en las materias de la carrera?

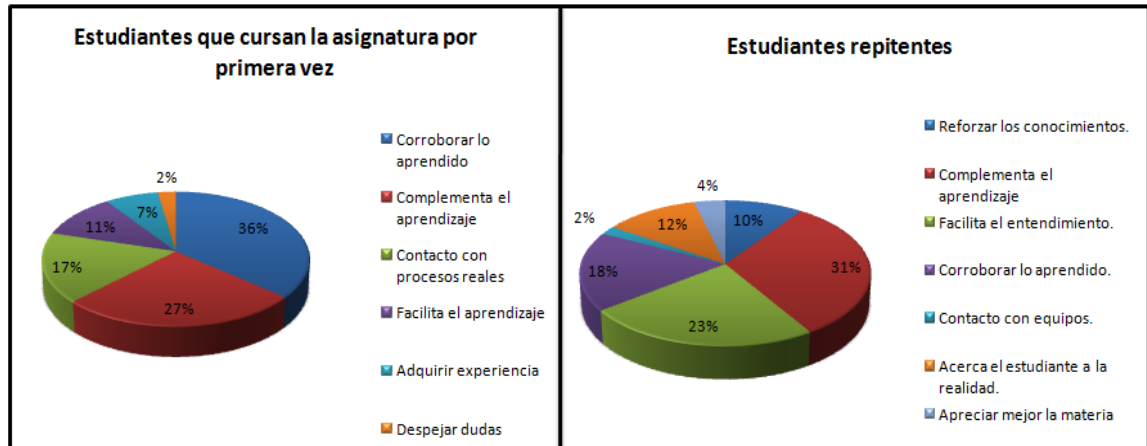
Figura B-3. Respuestas a la pregunta No.2



Fuente: Los autores

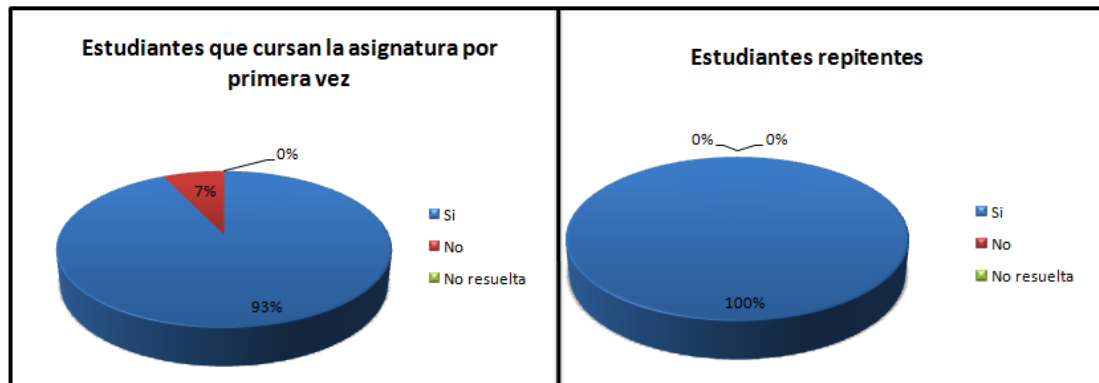
2.1 ¿Considera necesario la implementación de clases prácticas en las materias de la carrera? ¿Por qué?

Figura B-4. Respuestas a la pregunta No. 2.1



3. ¿Cree que el aprendizaje teórico sobre un tema específico debe ir siempre acompañado de su parte experimental?

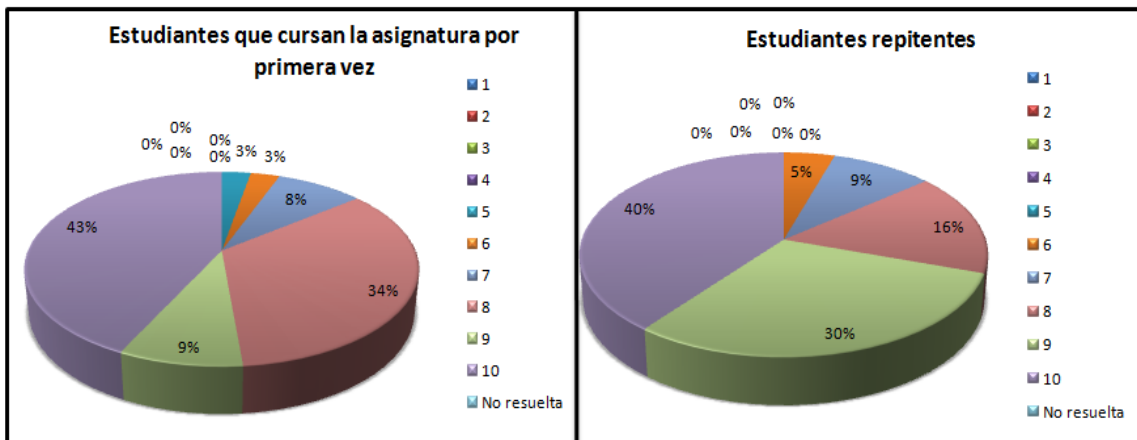
Figura B-5. Respuesta a la pregunta No. 3



Fuente: Los autores

4. ¿Se le facilita más el aprendizaje de nuevos conceptos y el refuerzo de los ya aprendidos; por medio de la realización de prácticas de laboratorio? Describa de 1 a 10 este efecto, siendo 1 la calificación más baja y 10 la más alta.

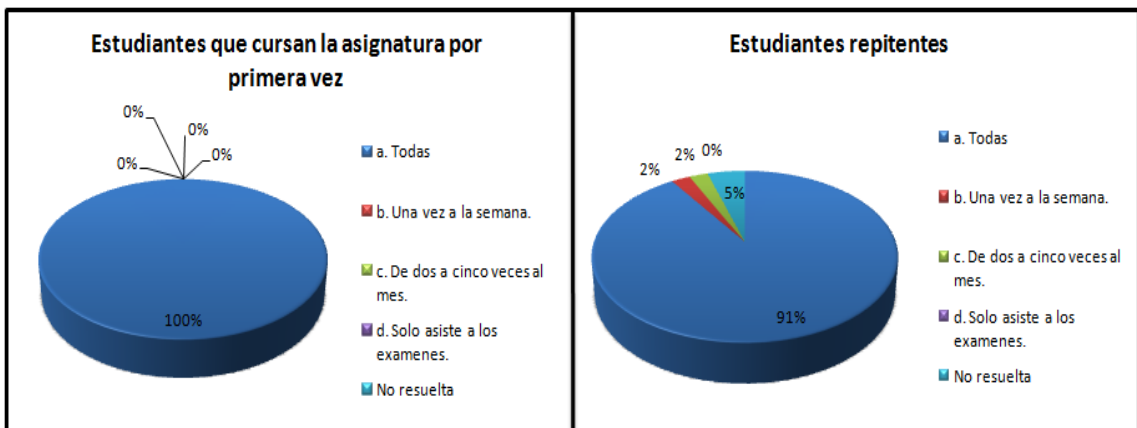
Figura B-6. Respuestas a la pregunta No. 4



Fuente: Los autores

5. ¿Con qué frecuencia asiste a las clases y actividades programadas para el desarrollo de la asignatura?

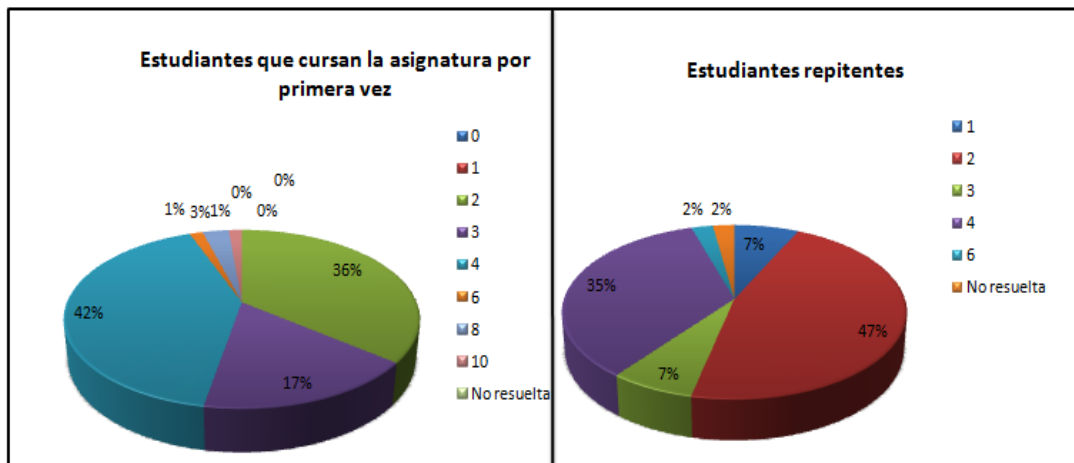
Figura B-7. Respuestas a la pregunta No. 5



Fuente: Los autores

6. Cuánto tiempo estaría dispuesto a dedicarle a la realización de prácticas en la semana, tenga en cuenta que esta sería una actividad extracurricular, es decir, se deben excluir las cuatro horas de clase teórica? (De la respuesta en número de horas)

Figura B-8. Respuestas a la pregunta No. 6



Fuente: Los autores

7. En el aprendizaje de una asignatura es fundamental que el estudiante asista a las clases dictadas por el profesor, y que complemente lo aprendido en estas, buscando información en libros, internet, y materiales educativos computarizados; adicionalmente que aplique los conceptos aprendidos en diferentes experimentos. Califique de 1 a 4 las siguientes actividades según la frecuencia con las que usted las realiza, siendo:

1: Ninguna. 2: Algunas veces. 3: Frecuentemente.

4: Siempre.

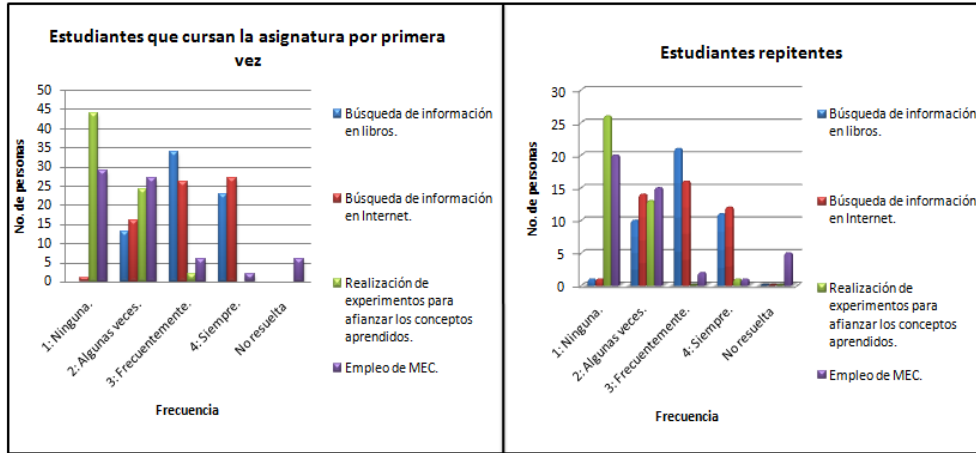
___ Búsqueda de información en libros.
en internet.

___ Búsqueda de información

___ Realización de experimentos para afianzar los conceptos aprendidos.

___ Empleo de MEC.

Figura B-9. Respuestas a la pregunta No. 7



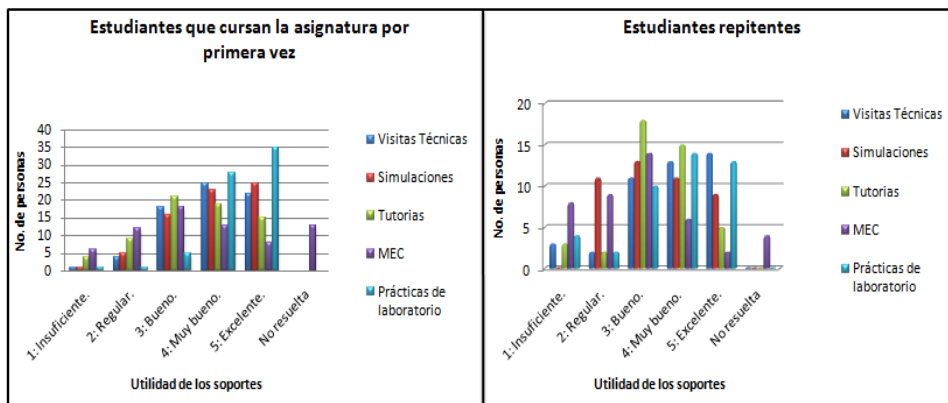
Fuente: Los autores

8. Califique de 1 a 5 la utilidad de los soportes educativos que se presentan a continuación, siendo:

1: Insuficiente. 2: Regular. 3: Bueno. 4: Muy bueno. 5: Excelente.

___ Visitas Técnicas ___ Simulaciones ___ Tutorías
 ___ MEC ___ Prácticas de laboratorio

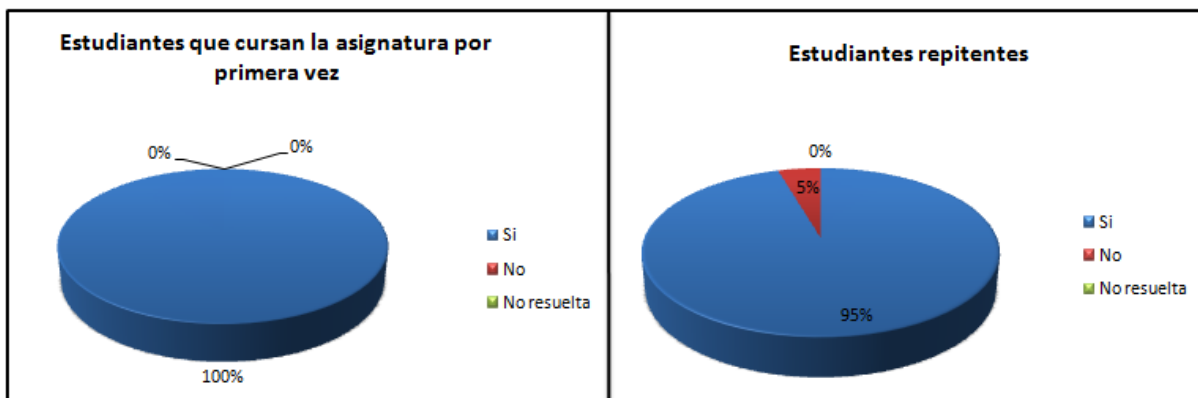
Figura B-10. Respuestas a la pregunta No. 8



Fuente: Los autores

9 ¿Es necesario el diseño de un manual; en el que se explique el funcionamiento del piloto construido (en el cual se van a desarrollar las prácticas); además de esto, los temas más relevantes de la asignatura y se propongan prácticas para afianzar los diferentes conceptos?

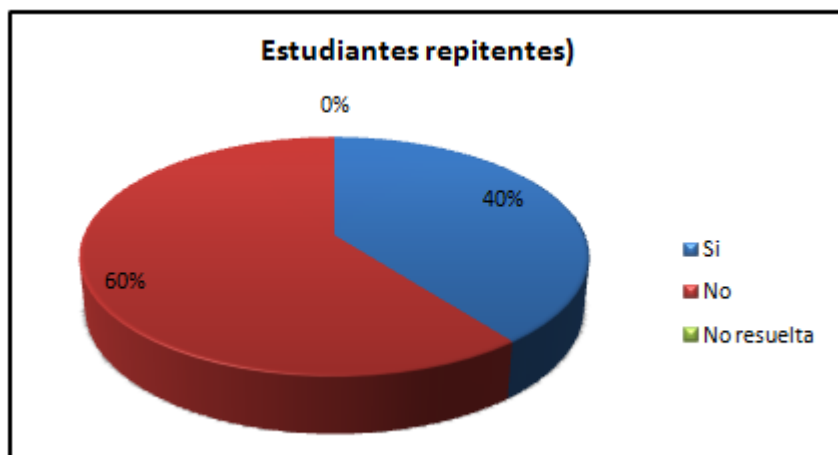
Figura B-11. Respuestas a la pregunta No. 9



Fuente: Los autores

- Conteste las siguientes preguntas, solo si usted está repitiendo la materia:
 - ¿Considera que la materia “Control de Procesos Químicos” es complicada?

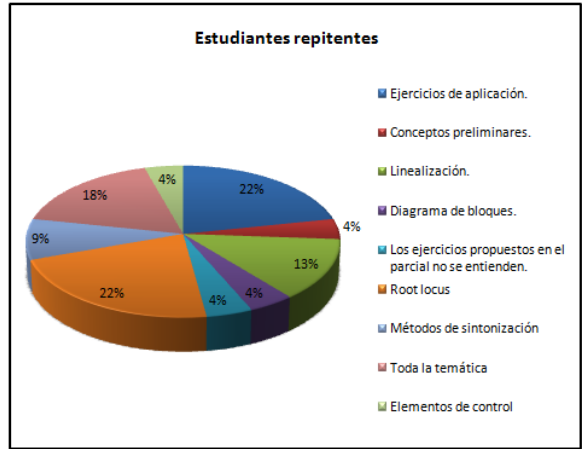
Figura B-12. Respuestas a la pregunta No. 10



Fuente: Los autores

10.1 ¿Considera que la materia “Control de Procesos Químicos” es complicada?
 Si considera complicada la materia, ¿Qué conceptos o temáticas se le dificultan?

Figura B-13. Respuestas a la pregunta No. 10.1

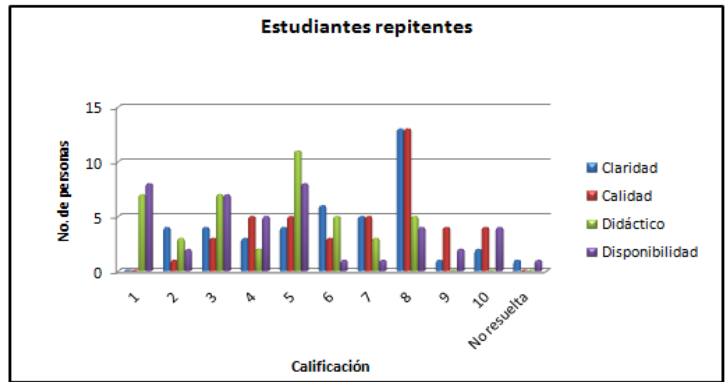


Fuente: Los autores

11. Califique de 1 a 10, siendo 1 la calificación más baja y 10 la más alta, el material bibliográfico de la asignatura al que usted tiene acceso en la universidad:

___Claridad. ___Calidad. ___Didáctico. ___Disponibilidad.

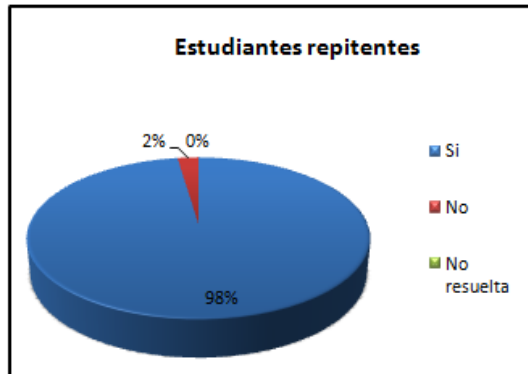
Figura B-14. Respuestas de la pregunta No. 11



Fuente: Los autores

12. ¿Cree que si hubiera tenido un acompañamiento practico sobre algunos de los conceptos más importantes de la materia, se hubieran obtenido mejores resultados?

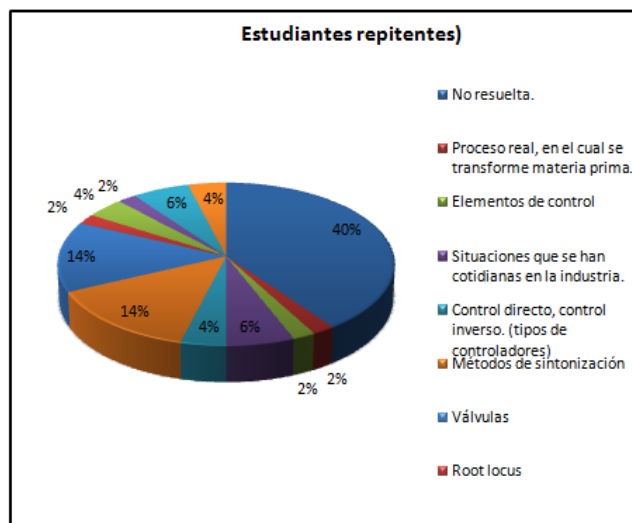
Figura B-15. Respuestas a la pregunta No. 12



Fuente: Los autores

13. ¿Hay algún concepto o temática especifica que considere que es necesario ver en una práctica de laboratorio? (Menciónelo)

Figura B-16. Respuestas a la pregunta No. 13



Fuente: Los autores

ANEXO C

MANUAL DEL USUARIO

INTRODUCCIÓN

La presente guía va dirigida a estudiantes de pregrado de Ingeniería Química que se encuentren cursando la asignatura Control de Procesos Químicos, y tiene como objetivos principales: facilitar su proceso de aprendizaje, despertar su interés en el tema y guiarlos de manera dinámica durante el curso de la asignatura. La metodología utilizada para tales fines, se fundamenta en la aplicación de los conocimientos teóricos, a través de un piloto de control por retroalimentación de temperatura y nivel.

En la primera parte del manual, se cuenta con la guía de utilización del usuario, destinada a inducir al estudiante a conocer el piloto, y proveer las pautas para que éste se maneje con prudencia y responsabilidad. Además se presenta un esquema gráfico cuyo objetivo es ayudar al estudiante a reconocer los elementos de control en el sistema, y a diferenciar la acción de cada uno de los lazos de control presentes.

En la segunda sección, se encuentra una breve introducción a los conceptos fundamentales de control automático de procesos, necesarios para la comprensión y la realización de las prácticas propuestas en el presente manual.

La descripción detallada de los elementos que forman un sistema de control y el comportamiento de los circuitos cerrados, se exponen en el tercer segmento del texto, allí también se describen los componentes presentes en el lazo de control del piloto.

Por cada temática presentada se proponen una serie de prácticas basadas en el programa de la asignatura Control de Procesos Químicos, éstas se desarrollan de forma tal, que el estudiante utilice los conceptos adquiridos en el aula de clase.

Se espera que este libro, ayude al estudiante a tener una concepción más clara de la asignatura de Control de Procesos Químicos, y le sirva como una herramienta útil para su aprendizaje.

I PARTE: GUÍA DE UTILIZACIÓN DEL PILOTO

En el siguiente capítulo del manual el usuario podrá encontrar una descripción detallada del piloto. Adicional a esto cuenta con una sección dedicada a las normas de seguridad que el estudiante debe cumplir para garantizar su integridad. Por último, el manual describe cuales son las precauciones a tener en cuenta durante el encendido, el funcionamiento y el apagado del piloto.

1.1 NORMAS DE SEGURIDAD

1.1.1 Recomendaciones

- Se requiere que los estudiantes, usen los elementos de protección adecuados en el área de trabajo (bata de laboratorio, guantes y gafas), así como la vestimenta adecuada según las normas de seguridad establecidas en la guía.
- Durante el desarrollo de las prácticas de laboratorio, debe trabajarse con orden, pulcritud y seriedad; es necesario dar buen uso a los equipos para mantenerlos en buen estado.
- Cada experimento debe prepararse previamente, es decir, el estudiante debe documentarse con anterioridad sobre el tema, y tener conocimiento pleno de lo que se va a realizar en el laboratorio.
- Es aconsejable llevar un cuaderno donde se anoten de manera clara y precisa todas las observaciones que se encuentren en el experimento.
- Si el estudiante no tiene seguridad del manejo u operación de un equipo, solicite ayuda al profesor, auxiliar o al encargado del laboratorio.
- Antes de iniciar experimentos con el piloto, se recomienda leer la ficha de seguridad de los fluidos de trabajo.
- Una vez finalizada la práctica, los estudiantes y docentes deben cerciorarse de que el piloto quede correctamente apagado, cuidando no dejar ninguna llave abierta, algún interruptor prendido o algún equipo operando.
- Para su buen funcionamiento y para evitar accidentes, se debe realizar mantenimiento periódicamente.

1.1.2 Reglas

1.1.2.1 Generales

- Solo pueden realizarse los experimentos asignados por el docente encargado de la asignatura. Ningún estudiante está autorizado para cambiar de manera alguna las prácticas establecidas por el profesor.
- Ninguno de los equipos presentes en el piloto, pueden ser abiertos, cambiados de sitio, desconectados o alterados de ninguna forma.
- Se debe verificar que los equipos estén correctamente instalados antes de iniciar las prácticas de laboratorio.
- Queda prohibido la práctica de juegos, bromas y otras conductas irresponsables durante el desarrollo de las prácticas.
- Por higiene y seguridad está prohibido fumar en el laboratorio. No se permite comer o beber durante la experimentación.
- Se debe conocer la ubicación de los elementos de seguridad en el laboratorio, tales como: extintores, rutas de evacuación, salidas de emergencia, teléfonos de emergencia, etc.

1.1.2.2 Vestuario

- El cabello largo debe recogerse durante la experimentación, a fin de evitar riesgos.
- Se prohíbe el uso de corbatas, bufandas, pañuelos y lazos que cuelguen durante el trabajo de laboratorio.
- Debe evitarse llevar puestos anillos, pulseras metálicas, cadenas y collares durante el desarrollo de los experimentos.
- No se aprueba vestir faldas o pantalones cortos en el área de trabajo.
- Solo se permite el uso de zapatos con planta de goma, totalmente cerrados es su parte superior. Utilizar otro tipo de calzado como sandalias que dejen descubiertas áreas de la piel será inadmisibles e inapropiado.
- Durante el desarrollo de las prácticas debe utilizarse la bata de laboratorio correctamente abotonada, se recomienda también llevar gafas de seguridad

y guantes aislantes por trabajarse en un ambiente de alta temperatura y tensión.

1.1.3 Manipulación de equipos con riesgo eléctrico

1.1.3.1 Riesgos eléctricos

La electricidad presenta riesgos que es preciso conocer y prever. Los accidentes generados son graves y en muchos casos mortales.

A continuación se enumeran y analizan los posibles riesgos a los que se está expuesto al manipular equipos a altas tensiones.

Shock eléctrico: Un *shock* eléctrico o electrocución puede producir desde una sensación de cosquilleo, hasta un desagradable estímulo doloroso, resultado de una pérdida total de control muscular y llegar a la muerte.

Aún cuando el *shock* eléctrico puede ser leve, la reacción refleja de sobresalto puede hacer que el afectado pierda el control del material que esté manipulando y causar otro accidente.

Descargas eléctricas: Se considera un arco eléctrico a una descarga continua de corriente alta, mientras que una chispa es una descarga momentánea con una caída de voltaje.

Estas descargas eléctricas, tanto chispas como o arcos, pueden encender vapores inflamables, causando explosiones y fuegos.

Los arcos importantes en intensidad pueden generar radiaciones ultravioletas que a su vez causan daños en los ojos y la piel.

Las descargas eléctricas están acompañadas de la producción de ozono. Esto puede convertirse en un riesgo respiratorio si se produce en un espacio confinado.

Riesgos de incendio por causas eléctricas: Los incendios por causas eléctricas son muy frecuentes, he aquí algunas de las formas en que estos ocurren:

- Sobrecalentamiento de cables o equipos bajo tensión debido a sobrecarga de los conductores.
- Sobrecalentamiento debido a fallas en termostatos o fallas en equipos de corte de temperatura.
- Fugas debidas a fallas de aislación.
- Autoignición debida a sobrecalentamiento de materiales inflamables ubicados muy cerca de equipos bajo tensión, cuando en operación normal pueden llegar a estar calientes.
- Ignición de materiales inflamables por chispa o arco.

Otros riesgos

- El paso de la corriente eléctrica a través del cuerpo puede producir quemaduras, afectando principalmente a la piel en el punto de contacto con el conductor eléctrico.
- La sobrecarga de corriente a los equipos (motores y cables entre otros) pueden ser también causas de explosión.

Medidas preventivas para el control de riesgos eléctricos

- El trabajo con electricidad requiere de mucho cuidado, no se deben gastar bromas en el área de trabajo ni jugar con la electricidad.
- Si se detecta cualquier anomalía, avisar inmediatamente al profesor, en caso de duda o emergencia, interrumpir el suministro de corriente.
- Si los cables están pelados o gastados, o los enchufes rotos, se corre un grave peligro, en tal caso debe notificarse inmediatamente.
- Si se notan cosquilleos o el menor chispazo utilizando un equipo, se debe desconectar de inmediato y posteriormente notificar lo ocurrido al docente o al encargado del laboratorio.
- Es importante prestar atención a los calentamientos anormales en motores, cables y equipos, en caso de que esto ocurra, debe comunicarse rápidamente para su revisión.

- Queda prohibido alterar la ubicación de los cables y conexiones, sin ser autorizados.
- Nunca debe desenchufarse halando el cable, lo correcto es coger la clavija-conector y tirar de ella.
- No se deben tocar los equipos con las manos húmedas. Debe evitarse trabajar en ambientes húmedos.
- No se deben introducir objetos en los agujeros de los enchufes y conectores.
- La modificación e instalación de equipos es única y exclusivamente competencia del personal especializado y autorizado.

1.1.4 Como actuar en caso de una emergencia

1.1.4.1 En caso de descarga

- No tocar a la persona electrizada inmediatamente.
- Cortar la corriente o retirar lo antes posible a la víctima, sin exponerse a su vez a una descarga.
- Desconectar la fuente generadora de electricidad.
- Si el interruptor es inaccesible, recurrir a un elemento aislante, por ejemplo una vara de madera seca, sogas, trapos o cinturón no metálico para separar a la víctima del contacto eléctrico, por ningún motivo retirarla con las manos ya que podría resultar electrocutado.
- Si la víctima está inconsciente y hay dificultad para respirar, comenzar la respiración artificial inmediatamente.
- La falta de pulso o una condición similar de *rigor mortis* pueden ser síntomas del efecto de la descarga y no de que la víctima haya fallecido.
- Una vez se ha separado el individuo del contacto eléctrico, recurrir a tratamiento médico de inmediato.
- Si el individuo sufre un paro cardíaco, debe emplearse la maniobra RCCP (reanimación cardiopulmonar).

1.1.4.2 En caso de incendio

- Ante todo debe mantenerse la calma, lo más importante es ponerse a salvo y avisar a los demás.
- No debe utilizarse agua para apagar el fuego siempre que existan aparatos eléctricos o enchufes cercanos.
- Si el fuego es pequeño debe usarse un extintor, si no se sabe cómo utilizarlo, debe ponerse en marcha el plan de evacuación.
- Si el fuego prende la ropa, el individuo debe tirarse al suelo y rodar sobre sí mismo.
- No es conveniente desplazarse corriendo, se aconseja caminar rápido.
- No se deben llevar objetos en el momento de la evacuación, ya que pueden entorpecer la salida.
- Si hay presencia de humos es conveniente desplazarse agachados.
- Si se logra salir del recinto, por ningún motivo debe volverse a entrar, son los equipos especializados los que deben encargarse.

1.1.4.3 En caso de quemaduras

- Si la quemadura es leve, debe lavarse la parte afectada con agua a temperatura entre 10 a 20°C, luego puede aplicarse algún apósito refrescante especial para quemaduras.
- Si la quemadura es extensa debe lavarse la zona afectada con abundante agua durante al menos 10 minutos, envolverla con un paño limpio, o una toalla humedecida con agua y posteriormente trasladar al paciente al hospital más cercano. Mientras tanto conviene mantener al paciente en reposo sin aplicar ninguna crema o pomada grasa.
- Si la quemadura presenta ampollas, por ningún motivo deben reventarse, ya que si esto ocurre existe peligro de infección convirtiéndose así la zona afectada en una puerta de entrada para los microorganismos.

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PILOTO

El piloto de laboratorio, cuenta con dos lazos de control:

- ✓ Lazo de control de la temperatura del agua en el tanque principal.
- ✓ Lazo de control del nivel del agua en el tanque principal.

Para llevar a cabo el montaje del piloto fueron necesarios diversos elementos que se describen a continuación:

El primer elemento es el tanque principal, elaborado en acero inoxidable calibre 16, tiene un diámetro 27 cm y una altura 35,5 cm. No posee tapa, para que los estudiantes puedan observar que está ocurriendo dentro del recipiente durante el funcionamiento del piloto. Cuenta con una salida lateral, para el agua de 1/2 in. La alimentación se realiza por medio de una tubería de 3/8 in en acero galvanizado; directamente sobre la parte superior del tanque principal.

Para la alimentación y la recepción de agua se adquirieron dos recipientes de aluminio, cada uno con capacidad para almacenar 25L, sus dimensiones son 26 cm de altura y 38 cm de diámetro. El tanque de alimentación cuenta con una salida lateral de 1/2 in para facilitar la salida del agua al tanque principal.

Para hacer fluir el agua a través del piloto se empleó tubería de acero galvanizado. El primer tramo de tubería es de 49 cm, 3/8 in de diámetro interno; y es el que se encarga de llevar el agua del tanque de alimentación hacia el tanque principal. La segunda sección de tubería es de 57 cm, 1/2 in de diámetro interno, y su función es transportar el agua que sale del tanque principal, hacia el tanque de recepción.

Para controlar la alimentación de agua al tanque principal, se instaló la “Válvula Solenoide Ref. 91138”. En la Figura C-1.1, se aprecia el montaje final del piloto de laboratorio.

Figura C-1.1. Montaje del piloto.



Fuente: Los autores

En el lazo de control de temperatura de agua en el tanque principal, se emplea una termocupla tipo J, para medir la temperatura del agua, esta le envía la señal al controlador *AUTONICS TZ4M24C*, de acción inversa, que debe decidir si el variador de potencia de estado sólido *OPI48P25*; suministra más o menos energía a la resistencia de calentamiento de 110V. En la Figura C-1.2, se aprecian los elementos descritos.

Figura C-1.2. Elementos del lazo de control de temperatura.



Fuente: Los autores

Para garantizar homogeneidad en el tanque principal, se emplea un agitador mecánico.

Figura C-1.3. Elementos del lazo de control de nivel.



Fuente: Los autores

El último lazo de control del nivel del agua en el tanque principal, cuenta con un sensor porto electrodo triple 53703, que se encarga de determinar el nivel en el que se encuentra el agua dentro del tanque, este envía la lectura al controlador de

nivel MAC 53200, de acción inversa, cuando el nivel de agua supera el límite superior de los sensores, el controlador envía la orden a la válvula solenoide 91138 que se cierre, impidiendo el flujo de agua hacia el tanque. Si el nivel de agua disminuye, la orden del controlador será la contraria. En la Figura C-1.3 se aprecian todos los componentes del lazo de control de nivel.

Todos los dispositivos electrónicos se ubicaron dentro de la caja de control que se muestra en la Figura C-1.4.

Figura C-1.4. Caja de control.

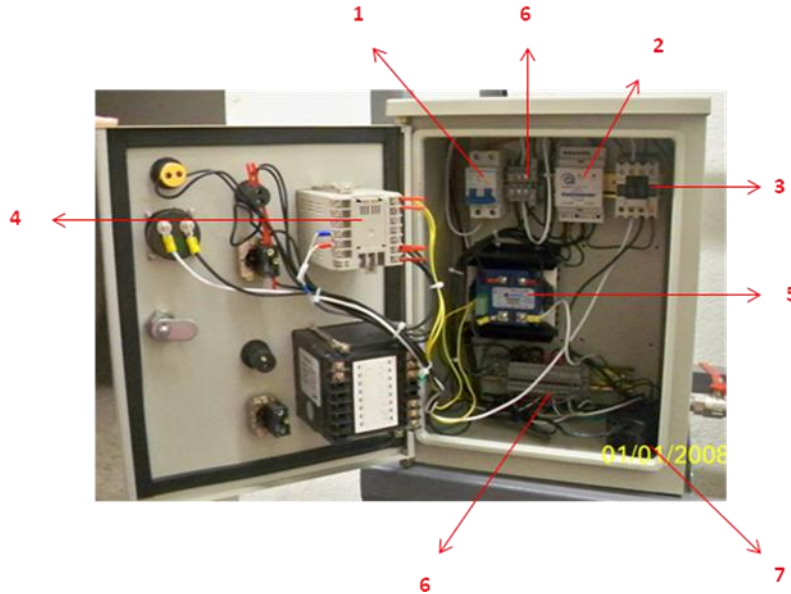


Fuente: Los autores

Como se muestra en la Figura C-1.1, el piloto se ubicó en un soporte metálico. Posee rodachines para transportarlo fácilmente en el laboratorio; cuando sea necesario, y está protegido con una capa de pintura electrostática, para garantizar su duración.

1.3 FUNCIONAMIENTO DEL PILOTO

Figura C-1.5. Elementos internos en la caja de control.



Fuente: Los autores

Todos los dispositivos electrónicos encargados de hacer funcionar los lazos de control del piloto, están almacenados en una caja de control. Para proceder al encendido, apagado y puesta en marcha del piloto, se requiere conocer las actividades que realizan cada uno de los elementos presentes en la caja.

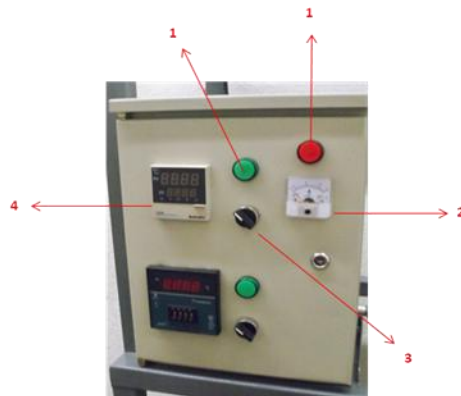
En la Figura C-1.5, se aprecia la vista frontal de la caja de control, permitiendo observar cada elemento allí contenido.

1. Dispositivo de seguridad: es un *breaker* bipolar, encargado de abrir el circuito y permitir que el sistema comience a funcionar. Posee una manija, cuya posición define si el estado del piloto es encendido o apagado (*on/off*). Adicionalmente, este equipo está diseñado como un mecanismo preventivo si llegara a presentarse un corto circuito.

2. Control MAC 53200: su función, es mantener fijo el nivel de agua en el tanque principal a un valor determinado por el sensor, mediante la apertura y cierre de una válvula solenoide situada a la entrada del tanque.
3. Contactor: es un dispositivo que conectado al controlador MAC 53200, impide que la resistencia encienda cuando el nivel de agua no esté en el valor previamente establecido.
4. Controlador *AUTONICS* TZ4M24C: Se encarga de mantener el valor de la temperatura en el tanque principal constante, enviando una señal análoga de 4-20mA a un variador de potencia de estado sólido.
5. Variador de potencia de estado sólido: este dispositivo regula la potencia suministrada a la resistencia, a través de una señal análoga de 4-20mA que recibe del controlador de proceso.
6. Borneras: proporcionan tableros en los que se ubican los cables que entran y salen, tanto de la caja de control, como de los dispositivos internos.
7. Fuente de 12 V: es un adaptador requerido por el variador de potencia para cumplir su función.

La caja de control, también está dotada de elementos externos, que en su mayoría cumplen la función de indicar al usuario las condiciones de operación a las que se está trabajando. Observe la Figura C-1.6.

Figura C-1.6. Dispositivos externos en la caja de control.



Fuente: Los autores

1. Bombillas *Phillips*: tienen la función de avisar al usuario si el sistema está encendido (bombilla verde), o si la resistencia está apagada (bombilla roja).
2. Amperímetro: es un instrumento de lectura, que se encarga de medir la corriente de entrada en el variador de potencia, y le permite al usuario visualizarla en todo momento.
3. *Switch*: se utiliza para encender el piloto de laboratorio.
4. Controlador *AUTONICS TZ4M24C*: está instalado de tal manera que el usuario puede manipularlo y programarlo sin necesidad de abrir la caja de control, adicionalmente, este controlador indica de manera permanente el valor del *set point* y la lectura de la termocupla.

1.3.1 Protocolo de encendido

- Verifique que el suministro de corriente eléctrica esté disponible.
- Cerciórese de que el tanque de alimentación se encuentre lleno.
- Abra la caja de control y ubique el dispositivo de seguridad en estado *on*, subiendo la manija azul.
- Encienda el piloto, girando el *switch* hacia la derecha.
- Espere a que se llene el tanque principal.
- Abra lentamente la llave de bola a la salida del tanque principal y establezca el flujo requerido.

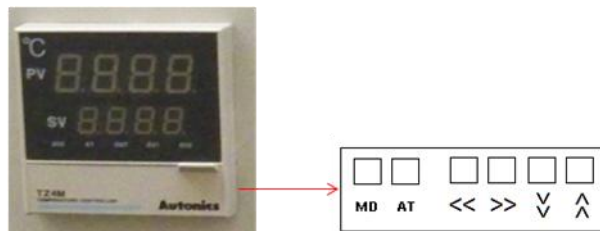
1.3.2 Protocolo de apagado

- Desocupe el tanque de recepción.
- Abra completamente la llave en la salida del tanque principal.
- Espere a que los tanques de alimentación y principal se desocupen.
- Gire el *switch* hacia la izquierda para apagar el piloto.
- Abra la caja de control y ubique el dispositivo de seguridad en estado *off*, bajando la manija azul.
- Desconecte todos los cables que suministren corriente eléctrica al piloto.

1.3.3 Programación del controlador

El controlador posee dos grupos de parámetros a través de los cuales se efectúa su programación, para acceder a dichos grupos, este cuenta con un teclado en su parte inferior. Ver Figura C-1.7.

Figura C-1.7. Controlador **AUTONICS TZ4M24C**



Fuente: Los autores

Ingreso de valores en los parámetros del controlador

- Para ingresar en el primer grupo, presione la tecla MD durante tres segundos y para ingresar en el segundo, presione las teclas MD y ↑ simultáneamente por tres segundos.
- Una vez ubicado en el grupo de interés, movílese a través del mismo utilizando la tecla MD. Cada vez que la presione el controlador mostrará un parámetro distinto.
- Ubíquese en el parámetro que desea cambiar y utilice la tecla >> para hacerlo, establezca el valor deseado presionando los botones ↑↓. Para volver al menú principal del grupo presione la tecla MD.
- Si desea salir del grupo, presione las teclas MD y ↑ simultáneamente durante tres segundos.

Primer grupo de ajuste

En este conjunto de parámetros están contenidos principalmente aquellos que están directamente relacionados con el modo de control. En la siguiente tabla, se especifican y describen aquellos que el usuario puede manipular. Ver Tabla C-1.1.

Tabla C-1.1. Primer grupo de parámetros del controlador AUTONICS TZ4MC24

Parámetro	Nombre	Rango de valores	Descripción
P	Banda proporcional	0-100%	Si se ajusta en el valor 0, el control será <i>ON/OFF</i>
I	Tiempo de reajuste	0-3600 segundos	El valor 0, desactiva el modo integral
D	Tiempo de derivación	0-3600 segundos	El valor 0, desactiva el modo derivativo
In-b	Corrección en la entrada	-45 a 50°C	Corrige el error asociado al sensor (Termocupla tipo J)

Fuente: Los autores

Segundo grupo de ajuste

En este grupo de ajuste, pueden modificarse los parámetros encargados de fijar las condiciones de operación del controlador. A continuación se presenta la Tabla C-1.2, que incluye los parámetros que el usuario puede manipular.

Ajuste del set-point

Para cambiar el *set point*, presione la tecla >> y establezca el valor deseado presionando los botones ↑↓. Para volver al menú principal del grupo presione la tecla MD.

Tabla C-1.2. Segundo grupo de parámetros del controlador AUTONICS TZ4MC24

Parámetro	Nombre	Posibles ajustes	Descripción
Pidt	Control dual PID	PIDF O PIDS	Existen dos tipos de control disponibles. Uno se utiliza cuando el usuario desea minimizar el tiempo en que el sistema alcanza el set point (PIDF). El otro se usa, cuando se desea minimizar el <i>overshoot</i> sin importar qué tanto demore el sistema en alcanzar el <i>set-point</i> (PIDS).
o-Ft	Calentamiento o Enfriamiento	<i>Cool</i> o <i>Heat</i>	Si se desea calentar el sistema, se selecciona <i>Heat</i> , en el caso contrario se escoge la opción <i>Cool</i> .
Unl t	Unidad de temperatura	°C o °F	En este parámetro, el usuario selecciona la unidad de temperatura a la que se va a trabajar.
H-SC	Límite superior	1-800°C	Con este parámetro se selecciona el límite superior de temperatura. Se aconseja que este valor sea equivalente al set point para mejorar el control.
L-SC	Límite inferior	0-799°C	Con este parámetro se selecciona el límite inferior de temperatura. Se aconseja ubicar este valor 2°C por debajo del <i>set-point</i> , para mejorar el funcionamiento del controlador.

Fuente: Los autores

PARTE II: CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y CIRCUITO EN LAZO ABIERTO

En esta sección del manual, se pretende recordar brevemente los conceptos referentes a la asignatura de control de procesos, y proveer una concepción clara de los mismos para la realización de las prácticas propuestas en la presente guía.

2.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES EN EL CONTROL DE PROCESOS

Un proceso es la transformación materias primas a partir de cambios físicos y químicos, con el fin de obtener un resultado final o producto terminado. El control de procesos es el medio por el cual se controla el comportamiento dinámico de un determinado proceso.

Cada proceso incluye uno o más factores físicos y químicos que pueden ser controlados; éstos son conocidos como variables, y es a partir de dichos factores que puede mantenerse controlado todo el proceso.

Un sistema se define como un grupo de componentes que, en conjunto, realizan una tarea específica. Por lo tanto, para que un dispositivo pueda clasificarse como sistema, debe cumplir los dos criterios siguientes: debe tener más de dos componentes, y éstos deben trabajar juntos para lograr una tarea específica.

Los sistemas de control tienen como objetivo mantener fijo el valor de las variables más relevantes de determinado proceso, su importancia radica en que, de ello dependerá la calidad, la tasa de producción y la seguridad del personal, del proceso mismo y de los equipos.

Todo sistema de control consta de tres acciones:

Medición: se mide la variable.

Decisión: se determina la acción correctiva a realizar para ajustar la variable, en base a la medición.

Acción: se ejecuta la acción correctiva.

Los elementos que constituyen los sistemas de control son los encargados de realizar las acciones ya mencionadas: el sensor transmisor, mide y transmite una señal al controlador, dispositivo que se encargará de tomar la decisión adecuada para ajustar la variable al valor deseado, mediante un elemento final de control que ejecutará finalmente la acción correctiva.

Para familiarizarnos más con la terminología utilizada en el campo de control automático de procesos, se definen a continuación las variables a identificar en todo sistema:

Variable controlada: variable de proceso que permite mantenerlo bajo condiciones deseadas.

Punto de control (*set-point*): es el valor en que se desea mantener la variable de proceso.

Variable manipulada: es la que se utiliza para mantener la variable de proceso en el punto de control.

Variable perturbadora: es la responsable de que la variable de proceso se desvíe del *set-point*.

2.1.1 Clasificación de los sistemas de control

Según la intervención del controlador:

Circuito abierto o lazo abierto: Situación en la que el controlador no interviene en el sistema, y por tanto no se ajusta automáticamente la variable de proceso. En estos casos se dice que el controlador está en modo manual.

Circuito cerrado o lazo cerrado: Sistema en el que el controlador está presente, realizando su acción correctiva, se dice que el controlador está en modo automático.

Según su función:

Control Regulador: Busca mantener las variables de proceso en el *set-point*.

Servocontrol: Se utiliza para controlar sistemas en los que el *set-point* de la variable de proceso varía en función del tiempo.

2.1.2 Estrategias de control

La identificación de las variables en un proceso depende propiamente de la estrategia de control a utilizar, pues, dependiendo del nivel de sensibilidad requerido en el mismo se puede utilizar diversas tácticas. Entre las más comunes y utilizadas en la industria se tienen:

Control por retroalimentación: consiste en tomar el valor de la variable controlada y retroalimentarla al controlador para que este pueda tomar una decisión.

Control por acción pre-calculada: en esta técnica, las perturbaciones son compensadas antes de que la variable controlada se salga del punto de control, éstas son medidas constantemente y enviadas a un controlador, que determina la acción preventiva a realizar.

Control de razón: constituye varios lazos de control destinados a mantener dos variables a una razón constante.

Control en cascada: consiste en conectar dos o más circuitos de control por retroalimentación entre sí para mantener una variable controlada principal en su *set-point*, mediante la estabilización de otra u otras variables controladas de carácter secundario.

2.2 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

Define como está relacionada la variable de salida con la variable de entrada, se expresa en el dominio de *Laplace*. En estas funciones se encuentran los

parámetros que definen la personalidad del proceso y que resultan claves en el diseño del sistema de control:

Contante de tiempo del proceso (τ): Es un valor relacionado directamente con la velocidad de respuesta del proceso, mientras más grande sea su valor, más lenta será la respuesta del sistema a la función de forzamiento o entrada.

Ganancia del proceso (K): Indica cuanto cambia la variable de salida por unidad de cambio en la función de forzamiento o variable de entrada. La ganancia define la sensibilidad del proceso, y depende en gran medida de parámetros físicos.

Tiempo muerto (t_0): Es el intervalo de tiempo entre la aparición de la función de forzamiento y el momento en que el proceso o la variable de responde. En la Ecuación C-2.1 se define matemática el tiempo muerto.

$$t_0 = \frac{AL}{q} \qquad \text{Ecuación C - 2.1}$$

Donde:

- A: área transversal del conducto.
- L: Longitud del conducto.
- q: caudal

2.3 SISTEMAS DINÁMICOS DE PRIMER ORDEN:

Son sistemas que están descritos por ecuaciones diferenciales de primer orden (Funciones de Transferencia de primer orden).

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \qquad \text{Ecuación C - 2.2}$$

Donde:

- Y= variable de respuesta.
- X= Perturbación.
- K= Ganancia del proceso.
- τ = Constante de tiempo.
- s = Dominio de Laplace.

2.4 PASOS A SEGUIR PARA DETERMINAR LA ECUACIÓN DE TRANFERENCIA DE UN SISTEMA DINÁMICO.

Para encontrar el modelo dinámico de un determinado sistema dinámico, es necesario seguir una serie de pasos consecutivos, tal como se presenta a continuación:

Planteamiento de ecuaciones: Se realizan los balances de masa y energía según sea conveniente, y se citan las ecuaciones necesarias en el desarrollo del modelo correspondiente.

Análisis de grados de libertad: es fundamental en este ejercicio, puesto que permite conocer si se tiene o no información suficiente para resolver el sistema.

Primero deben listarse las variables del proceso, luego enumerar la cantidad de ecuaciones y de incógnitas presentes, finalmente el sistema estará definido correctamente si la diferencia entre ambas es cero. Es importante resaltar, que las variables de entrada no se toman como incógnitas.

Linealización y definición de las variables de desviación: puesto que la mayoría de los sistemas de ecuaciones que representan el comportamiento de procesos industriales no son lineales, resulta indispensable linealizar las ecuaciones, estrategia para la cual se utiliza la expansión por series de *Taylor* truncada en el segundo término. El siguiente paso consiste en identificar las variables de desviación y trabajar con ellas en adelante.

Expansión por serie de *Taylor* truncada en el segundo término

$$f(x) = f(x^*) + \frac{df}{dx}(x^*)[x(t) - x^*] \quad \text{Ecuación C - 2.3}$$

Donde:

- x^* = Valor de la variable en el estado estacionario
- X = Variable de desviación

Variable de desviación: es la diferencia entre una variable y su punto de operación o valor base. Su utilización es ventajosa debido a que el punto de operación está generalmente en el estado estacionario, y por ello las condiciones iniciales de las variables de desviación y sus derivadas, son todas cero.

La variable de desviación se representa con la letra mayúscula de la variable original, mientras que la variable en estado estacionario se indica añadiendo un asterisco.

$$X = [x(t) - x^*] \quad \text{Ecuación C - 2.4}$$

Ejemplo:

Ecuación de primer orden: $\frac{dy(t)}{dt} = f(x(t), y(t))$ Ecuación C - 2.5

Ecuación no lineal:

$$\frac{d[y(t) - y^*]}{dt} = f(x(t), y(t)) - f(x^*, y^*) \quad \text{Ecuación C - 2.6}$$

Ecuación linealizada:

$$\frac{dY(t)}{dt} = a_1 X(t) + a_2 Y(t) \quad \text{Ecuación C - 2.7}$$

Donde:

$$a_1 = \frac{df}{dx}(x^*, y^*) \quad \text{Ecuación C - 2.8} \quad a_2 = \frac{df}{dy}(x^*, y^*) \quad \text{Ecuación C - 2.9}$$

Dominio de Laplace: finalmente debe llevarse la ecuación linealizada al dominio de Laplace, para identificar posteriormente las constantes que caracterizan el proceso: ganancia y constante de tiempo.

$$sY(s) = a_1 X(s) + a_2 Y(s) \quad \text{Ecuación C - 2.10}$$

$$Y(s) = \left[\frac{a_1}{s - a_2} \right] X(s)$$

Ecuación C – 2.11

A partir de la Ecuación C-2.11 identificamos la ganancia y constante de tiempo, obteniendo así la función de transferencia que representa la respuesta Y a partir de una perturbación X.

$$Y(s) = \left[\frac{K}{\tau s + 1} \right] X(s)$$

Ecuación C – 2.12

Cuando un sistema presenta tiempo muerto, su función de transferencia, puede aproximarse a una expresión polinómica:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K e^{t_0 s}}{\tau s + 1}$$


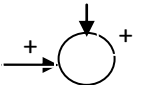


Ecuación C – 2.13

Donde:

- Y= variable de respuesta
- X=Perturbación

2.5 DIAGRAMA DE BLOQUES:

Tabla C-2.1 Descripción de elementos de un diagrama de bloques.

<i>Elemento</i>	<i>Descripción</i>	<i>Símbolo</i>
Flechas	Indican el flujo de información, y representan las variables de proceso o las señales de control.	
Puntos de suma	Representa la suma o resta algebraica de las flechas de la misma naturaleza.	
Punto de derivación	Indica que una señal se distribuye en varios caminos.	
Bloques	Representan la operación matemática, en forma de función de transferencia.	

Fuente: Los autores

Es una técnica utilizada para representar gráficamente las funciones de transferencia presentes en un proceso. Los diagramas de bloques son una herramienta muy útil en el control de procesos, ya que simplifican y ayudan a

visualizar de forma más clara, sistemas complejos. Los diagramas de bloques constan de cuatro elementos, los cuales se visualizan en la Tabla C-2.1.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

PRÁCTICA DE LABORATORIO No. 1

Título: Introducción al piloto de laboratorio

Competencias

- ❖ El estudiante conoce y aplica las normas de seguridad necesarias para trabajar en el laboratorio.
- ❖ El estudiante reconoce e identifica los elementos que se encuentran en el piloto de laboratorio; y comprende su funcionamiento.

Logros

- Identifica los riesgos asociados con el manejo del piloto de laboratorio de control de procesos.
- Sabe cuáles son los implementos y el vestuario adecuado que debe utilizar en un laboratorio.
- Es consciente de la existencia del peligro, sabe cómo evitarlo, y en el caso que se presente como afrontarlo.
- Conoce la ubicación de los elementos de seguridad como son extintores, rutas de evacuación, salidas de emergencia, teléfonos de emergencia, etc.
- Está familiarizado con el piloto de laboratorio de control de procesos, y con cada una de sus partes, sabe manipularlo y está en capacidad de realizar las prácticas.
- Entiende los conceptos básicos del control de procesos.

Procedimiento

- 1) Lea el capítulo IV del manual del piloto.
- 2) Visite el laboratorio de procesos, y consulte la ubicación de los elementos de seguridad, si tiene alguna duda soluciónela con alguno de los encargados del laboratorio.

- 3) En compañía del docente guía de la asignatura; explore las instalaciones del piloto y procure despejar todas sus dudas e interrogantes respecto al mismo.
- 4) Una vez haya recibido instrucciones de la persona encargada; proceda a realizar el encendido del piloto.
- 5) Analice el funcionamiento del piloto, identificando en él los conceptos fundamentales de la materia.
- 6) Una vez el reconocimiento, haya finalizado; apagar el piloto de manera correcta, teniendo en cuenta todas las indicaciones presentes en el manual.

Actividades

1. Enumere las normas a seguir para garantizar un trabajo seguro en el laboratorio.
2. Elabore un esquema donde identifique los posibles peligros, que se puedan presentar durante el trabajo en el laboratorio, y los riesgos que ellos implican.
3. Realice una guía de pasos a seguir en caso de una emergencia, para cada uno de los riesgos significativos, que se puedan correr en el laboratorio.
4. Haga una lista de los lazos de control presentes en el proceso.
5. Identifique los elementos que forman parte de cada lazo de control, y la acción que realizan (*Medir, decidir y actuar*).
6. Determine cuáles son las variables: controlada, manipulada y perturbadora, en cada uno de los lazos de control.
7. Indique las estrategias de control, presentes en el piloto de laboratorio, y explique cómo funciona cada una.

PRÁCTICA DE LABORATORIO No. 2

Título: Lazo abierto. Influencia de la Temperatura de alimentación.

Competencias:

- ❖ El estudiante comprende la influencia de la temperatura de alimentación en la personalidad del proceso.

Logros:

- Está en capacidad de realizar el balance de masa y energía del proceso.
- Conoce los conceptos ganancia y constante de tiempo, y por tanto los identifica sin dificultad en un proceso.
- Entiende la influencia de la variable temperatura de alimentación en la respuesta del proceso y en la temperatura de estabilización.
- Tiene los conocimientos para realizar un análisis de resultados a partir de los resultados obtenidos.

Materiales y equipos

- 1 Probeta de 2 litros.
- 1 Cronómetro.
- 1 Termómetro.
- 2 Envases plástico.
- 2 Baldes.
- 1 Plancha de calentamiento.

Procedimiento

- 1) Provea el tanque de alimentación con agua a 24°C y proceda a llenar el tanque principal hasta el volumen establecido por el control de nivel.
- 2) En una plancha de calentamiento, lleve una cantidad de agua a una temperatura mínima de 37°C.

- 3) Encienda el piloto y ubique el *set-point* a una temperatura de 37°C.

- 4) Introduzca la termocupla en un recipiente plástico, que contenga el agua que se calentó en el segundo paso. De manera que garantice que la resistencia no comience a funcionar.
- 5) Manteniendo el tanque de alimentación lleno, establezca un flujo a la salida del tanque principal de 700 a 800 ml/min, utilizando la probeta y el cronómetro.
- 6) Llene un recipiente plástico con agua a 24°C, sumerja la termocupla en dicho recipiente al tiempo que inicia el cronómetro.
- 7) Registre la temperatura del tanque principal en el tiempo.
- 8) Cerciórese de mantener lleno el tanque de alimentación y de vaciar constantemente el tanque de recepción durante la práctica, evitando que este se desborde.
- 9) Repita los pasos anteriores dos veces más, alimentando el tanque a 27°C y a 32°C respectivamente. Asegúrese de que los flujos de salida del tanque principal, para los tres casos, sean lo más cercano posible.

Resultados

Talimentación= 24°C, Flujo= ___ ml/min		Talimentación= 27°C, Flujo= ___ ml/min		Talimentación= 32°C, Flujo= ___ ml/min	
Temperatura °C	tiempo (min)	Temperatura °C	tiempo (min)	Temperatura °C	tiempo (min)

Actividades

1. Realice los balances de masa y energía del proceso que ocurre en el piloto de laboratorio.
2. Identifique la ganancia y la constante de tiempo a partir de los balances realizados en el numeral anterior.
3. Grafique los resultados obtenidos de Temperatura vs. Tiempo.
4. Realice un análisis de la influencia de la temperatura de alimentación en la respuesta del proceso.
5. Realice un diagrama de barras que demuestre la influencia de la temperatura de alimentación en la temperatura de estabilización del proceso.
6. Haga un análisis a partir de los gráficos obtenidos.

PRÁCTICA DE LABORATORIO No. 3

Título: Lazo abierto. Influencia del flujo.

Competencias

- ❖ El estudiante comprende la influencia del flujo en la dinámica del proceso.

Logros

- Está en capacidad de evaluar el comportamiento del sistema a través de los conocimientos teóricos.
- Sabe identificar los cambios en las constantes ganancia y constante de tiempo a través del comportamiento del sistema.
- Deduce el comportamiento del sistema en condiciones límite, de acuerdo con los resultados obtenidos.
- Tiene los conocimientos para realizar un análisis de resultados a partir de los resultados obtenidos.

Materiales y equipos

- 1 Probeta de 2 litros
- 1 Cronómetro
- 1 Termómetro
- 2 Envase plástico
- 2 Baldes
- 1 Plancha de calentamiento

Procedimiento

1. Provea el tanque de alimentación con agua a 24°C y proceda a llenar el tanque principal hasta el volumen establecido por el control de nivel.
2. En una plancha de calentamiento, lleve una cantidad de agua a una temperatura de mínimo 37°C.

Actividades

1. Grafique los resultados obtenidos de Temperatura vs. Tiempo.
2. Realice un diagrama de barras que demuestre la influencia del flujo en la temperatura de estabilización del proceso.
3. Realice un análisis de la influencia del flujo en la respuesta del proceso.
4. Complete su análisis, deduciendo el comportamiento del sistema en condiciones de flujo límites, es decir, cuando se trabajan flujos muy altos y muy bajos.
5. Con los resultados de la práctica anterior, construya un cuadro comparativo, que incluya la influencia de las variables temperatura de alimentación en el tanque principal y flujo, en el comportamiento del sistema.

PRÁCTICA DE LABORATORIO No. 4

Título: Lazo abierto. Influencia del volumen en el tanque principal.

Competencias

- ❖ El estudiante comprende la influencia del volumen en el tanque principal; en la personalidad del proceso.

Logros

- Manipula los elementos presentes en el control de nivel y conoce su funcionamiento.
- Está en capacidad de evaluar el comportamiento del sistema a través de los conocimientos teóricos.
- Sabe identificar los cambios en las constantes ganancia y constante de tiempo a través del comportamiento del sistema.
- Entiende la influencia del volumen en el tanque principal, en la respuesta del proceso y en la temperatura de estabilización.
- Tiene los conocimientos para realizar un análisis de resultados a partir de los resultados obtenidos.

Materiales y equipos

- 1 Probeta de 2 litros
- 1 Cronómetro
- 1 Termómetro
- 2 Envase plástico
- 2 Baldes
- 1 Plancha de calentamiento
- 1 Flexómetro

Procedimiento

- 1) Provea el tanque de alimentación con agua a 24°C y proceda a llenar el tanque principal hasta el volumen establecido por el control de nivel.
- 2) En una plancha de calentamiento, lleve una cantidad de agua a una temperatura de mínimo 37°C.
- 3) Encienda el piloto y ubique el *set-point* a una temperatura de 37°C.
- 4) Introduzca la termocupla en un envase plástico, que contenga el agua que se calentó en el segundo paso. De manera que garantice que la resistencia no comience a funcionar.
- 5) Manteniendo el tanque de alimentación lleno, establezca el flujo a la salida del tanque principal, utilizando la probeta y el cronómetro.
- 6) Llene un recipiente plástico con agua a 24°C, sumerja la termocupla en dicho recipiente al tiempo que inicia el cronómetro.
- 7) Registre la temperatura del tanque principal en el tiempo.
- 8) Cerciórese de mantener lleno el tanque de alimentación y de vaciar constantemente el tanque de recepción durante la práctica, evitando que este se desborde.
- 9) Realice nuevamente el experimento, cambiando el volumen en el tanque principal, para ello solicite ayuda del docente o persona encargada de supervisar el laboratorio. Asegúrese de medir el volumen del tanque en cada experimento y de que los flujos establecidos para las dos prácticas, sean lo más cercanos posible.

Resultados

Talimentación= ____ °C

V1= ____ litros Flujo= ____ ml/min		V2= ____ litros Flujo= ____ ml/min	
Temperatura °C	tiempo (min)	Temperatura °C	tiempo (min)

Actividades

1. Grafique los resultados obtenidos de Temperatura vs. Tiempo.
2. Realice un diagrama de barras que demuestre la influencia del volumen en el tanque principal en la temperatura de estabilización del proceso.
3. Realice un análisis gráfico de la influencia del volumen en el tanque principal, en la respuesta del proceso.
4. Analice y explique el comportamiento de las gráficas realizadas en los numerales pasados.
5. Con los resultados de las dos prácticas anteriores, construya un cuadro donde compare la influencia de las variables temperatura de alimentación en el tanque principal, flujo y volumen en el tanque principal, en el comportamiento del sistema.

PRÁCTICA DE LABORATORIO No. 5

Título: Análisis de lazo abierto

Competencias

- ❖ El estudiante debe saber cómo encontrar la función de transferencia de un sistema y estar en capacidad de representarlo en un diagrama de bloques.
- ❖ El estudiante debe comprender las diferencias existentes entre un sistema real y un sistema teórico.

Logros

- Sabe reconocer una ecuación diferencial no lineal.
- Conoce los procedimientos matemáticos de linealización y transformada de *Laplace*, está en capacidad de aplicar dichos tratamientos a cualquier sistema.
- Entiende el comportamiento de una función de transferencia de primer orden.
- Entiende el significado físico de las constantes ganancia y constante de tiempo, las puede identificar en una función de transferencia.
- Conoce las reglas del algebra de bloques, y sabe cómo realizar un diagrama de bloques.
- Está en capacidad de representar cualquier proceso en la herramienta de *Matlab "Simulink"*.

Materiales y equipos

- 1 Probeta de 2 litros
- 1 Cronómetro
- 1 Termómetro
- 2 Envase plástico
- 2 Baldes
- 1 Plancha de calentamiento

Procedimiento

- 1) Provea el tanque de alimentación con agua a 24°C y proceda a llenar el tanque principal hasta el volumen establecido por el control de nivel.
- 2) Encienda el piloto y ubique el *set-point* a una temperatura de 37°C.
- 3) Establezca el flujo a la salida del tanque principal a un valor entre 600-650 ml/min. Utilice la probeta y el cronómetro para tal fin.
- 4) Mantenga la termocupla en el tanque principal, y espere a que el sistema se estabilice.
- 5) En una plancha de calentamiento, lleve una cantidad de agua a una temperatura máxima de 50°C.
- 6) Prepare agua a 35°C en un recipiente plástico, y manténgala a esa temperatura durante el resto de la práctica. Utilice el agua que se calentó en el numeral anterior para tal fin.
- 7) Perturbe el sistema, introduciendo la termocupla en el agua a 35°C, asegúrese de iniciar el cronómetro al mismo tiempo.
- 8) Cerciórese de mantener lleno el tanque de alimentación y de vaciar constantemente el tanque de recepción durante la práctica, evitando que este se desborde.
- 9) Registre la temperatura del tanque principal en el tiempo y la corriente reportada por el amperímetro.

Resultados

Flujo= ___ ml/min, Talimentación= ___ °C					
Etapa I: Estabilización del sistema			Etapa II: Perturbación de sistema		
Temperatura °C	Tiempo (min)	I(mA)	Temperatura °C	Tiempo (min)	I(mA)

Actividades

1. Grafique los resultados obtenidos de temperatura en el tiempo.
2. Realice el modelo dinámico del proceso y el diagrama de bloques correspondiente.
3. Encuentre experimentalmente la función de transferencia que relaciona la corriente con la temperatura del tanque principal. (Utilice el método 3 de lazo abierto que se encuentra en el libro *Smith y Corripio*).
4. Utilice “*Simulink*” para representar el sistema, y compare sus resultados prácticos, con los que arroja el programa. A partir de ello valide su modelo.
5. Encuentre las principales diferencias entre el sistema real y la simulación, y enumere los posibles factores que pueden causar dichas desigualdades.

PARTE III: CIRCUITO EN LAZO CERRADO Y ELEMENTOS DE CONTROL

En la siguiente sección, se pretende explicar algunos de los conceptos más significativos del control de procesos, como lo son los elementos de control y el circuito cerrado. Igualmente se hace una breve descripción de los dos tipos de control utilizados en este piloto (control de nivel y control de temperatura).

3.1 CONTROL POR RETROALIMENTACIÓN O CONTROL *FEEDBACK*:

Actualmente es el sistema de control más empleado. Básicamente en estos procesos se toma la variable de proceso (a controlar) y se retroalimenta al controlador para que éste pueda tomar una decisión.

Tabla C-3.1 Ventajas y desventajas del Control *Feedback*.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">- Técnica muy simple, que compensa todas las perturbaciones.- El circuito de control no necesita saber qué tipo de perturbación entra al proceso, únicamente las compensa para mantener la variable controlada en el punto de control.	<ul style="list-style-type: none">- El efecto de una perturbación se debe desplazar a lo largo de todo el sistema antes de que el control sea ejercido.- Compensa la perturbación únicamente cuando la variable controlada se ha desviado del punto de control.- Es una operación de ensayo y error, en algunas ocasiones el elemento final de control ejecuta la orden del controlador mas allá de lo necesario, en consecuencia el controlador debe generar una nueva orden con la que se equilibre la acción anterior.

Fuente: Los autores

** El piloto cuenta con un lazo de control por retroalimentación; en el control de la variable temperatura del agua, en el tanque principal.*

3.1.1 Controlador proporcional (P):

La ecuación que describe este controlador es la siguiente:

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) \quad (\text{Ecuación C – 3.1})$$

Donde:

- $m(t)$: salida del controlador, en *psig* o *mA*
- $e(t)$: señal de error, en *psig* o *mA*; esta es la diferencia entre el punto de control y la variable que se controla. $e(t)=r(t)-c(t)$.
- K_c : ganancia del controlador, en *psi/psi* o *mA/mA*.
- \bar{m} : valor base, en *psig* o *mA*. El significado de este valor es la salida del controlador cuando el error es cero; generalmente se fija durante la calibración del controlador, en el medio de la escala, 9 *psig* o 12 *mA*.

En muchos controladores no se utiliza el término ganancia para designar la cantidad de sensibilidad del controlador, sino que emplean el término “*Banda Proporcional, PB*”.

$$PB = \frac{100}{K_c} \quad (\text{Ecuación C – 3.2})$$

En términos generales la *PB* se refiere al error que se requiere para llevar la salida del controlador del valor más bajo hasta el más alto.

Tabla 3.2. Ventajas y desventajas del controlador P.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sólo cuenta con un parámetro de ajuste: K_c .	Opera con una desviación o error en estado estacionario en la variable que se controla. En los procesos en que el control debe estar en el punto de control, los controladores proporcionales no ofrecen un control satisfactorio.

Fuente: Los autores

3.2.2 Controlador proporcional-integral (PI):

Muchos de los procesos no pueden operarse con una desviación en su punto de control (error en estado estacionario), para estos casos se debe añadir al sistema un modo que elimine la desviación: La “Acción integral”.

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt \quad (\text{Ecuación C - 3.3})$$

Donde:

τ_I : tiempo de integración o reajuste en minutos/repetición.

* Las demás variables de la ecuación fueron descritas previamente.

Por lo tanto, el controlador PI tiene dos parámetros: K_C y τ_I ; los cuales se deben ajustar para obtener un control satisfactorio. Entre menor sea el valor de τ_I la respuesta de controlador se hace más rápida.

Como en el caso del controlador proporcional; en algunos casos no se emplea el término de tiempo de reajuste para su parámetro de ajuste, sino que utilizan lo que es conocido como rapidez de reajuste τ_I^R , la expresión que relaciona estos dos parámetros es:

$$\tau_I^R = \frac{1}{\tau_I} \quad (\text{Ecuación C - 3.4})$$

Tabla C- 3.3 Ventajas y desventajas del controlador PI.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La acción de integración o de reajuste elimina la desviación.	Se deben ajustar dos parámetros para obtener un control satisfactorio.

Fuente: Los autores

3.2.3 Controlador proporcional-integral-derivativo (PID):

Algunas veces se añade otro modo de control al controlador PI, este nuevo modo de control es la acción derivativa, también conocida como rapidez de derivación o pre-actuación; tiene como propósito anticipar hacia dónde va el proceso, mediante la observación de la velocidad de cambio del error. La ecuación que describe este tipo de controlador es la siguiente:

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int e(t) dt + K_c \tau_D \frac{de(t)}{dt} \quad (\text{Ecuación C - 3.5})$$

Donde:

τ_D : rapidez de derivación en minutos.

* Las demás variables de la ecuación fueron descritas previamente.

Los controladores PID son empleados en procesos lentos (las constantes de tiempo son grandes), como por ejemplo los circuitos de temperatura y de concentración; en procesos de gran capacidad.

Tabla C- 3.4 Ventajas y desventajas del controlador PID

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La acción derivativa da al controlador la capacidad de anticipar hacia dónde va el proceso.	Tiene tres parámetros: K_c , τ_I y τ_D que deben ser ajustados para obtener un control óptimo. Puede generar perturbaciones si se presenta ruido en la señal.

Fuente: Los autores

3.2 CONTROL ON-OFF, CONTROL DISCRETO, O CONTROL DE DOS ESTADOS

Popularmente es llamado el controlador todo o nada, se caracteriza porque su salida solo puede cambiar a dos posiciones de la misma forma como lo hace un

interruptor. El sistema de control no lleva a la variable al *set-point*, sino a una zona de aceptabilidad conocida como zona muerta.

La acción del controlador *on-off* tiene un simple mecanismo de construcción, por esta razón este tipo de controladores tiene un amplio uso.

Tabla C-3.5 Ventajas y desventajas del control *on-off*.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Por su fácil construcción y manejo, son ampliamente utilizados en la industria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Al emplear un sistema de control <i>on-off</i>, obtiene como resultado la oscilación de la variable controlada, y no una respuesta exacta.

Fuente: Los autores

**El piloto cuenta con un sistema de control on-off, cuando se controla la variable: nivel del agua en el tanque principal.*

3.3 ELEMENTOS BÁSICOS DEL SISTEMA DE CONTROL:

3.3.1 Sensor- transmisor:

Se encarga de medir la variable de proceso Por lo general, los sensores van acompañados de otro elemento de control: El transmisor; este se encarga de convertir el fenómeno en una señal que se pueda transmitir al controlador. El piloto de laboratorio diseñado cuenta con dos clases de sensores:

3.3.1.1 Sensor de nivel:

El piloto diseñado cuenta con un sensor: “Porto electrodo triple ref.91138”. Este consiste en un sistema de tres polos; los cuales se sitúan a diferentes alturas del tanque.

3.3.1.2 Sensor de temperatura: Termocupla tipo J

Son empleadas cuando el rango de medición se encuentra dentro del siguiente intervalo: -200°C a 2800°C . Consiste en un par de conductores de diferentes metales o aleaciones. Uno de los extremos, la junta de medición, está colocado en el lugar donde se ha de medir la temperatura. Los dos conductores salen del área de medición y terminan en el otro extremo, la junta de la referencia que se mantiene a temperatura constante. Se produce entonces una fuerza electromotriz (fem) que es función de la diferencia de temperatura en las dos juntas.

La termocupla tipo J se encarga realizar la medición de la temperatura del agua en el tanque principal.

3.3.2 Controladores por retroalimentación:

Básicamente la manera en que los controladores toman una decisión para mantener el punto de control, es mediante el cálculo de la señal de salida, con base en la diferencia entre la variable que se controla y el punto de control.

3.3.2.1 Control de nivel:

El controlador presente en el lazo de control de nivel es discreto, de acción inversa, en este caso cuando el nivel rebasa el límite superior de los sensores, la acción del controlador es cerrar la válvula hasta que el nivel vuelva al *set-point*. En el caso que el nivel este por debajo del límite inferior la acción que ordena el controlador es abrir la válvula hasta que se recupere el nivel optimo del tanque. El controlador implementado para la construcción del piloto es un "Control MAC ref. 53200".

3.3.2.2 Control de Temperatura, sistema de calentamiento eléctrico

El controlador con el que cuenta el piloto para el lazo de control de temperatura es "Control *AUTONIX* ref. TZ4M14C"; continuo, de acción

inversa. Se conecta a una resistencia de calentamiento de 110 V; que funciona como mecanismo de calentamiento. Es decir; la termocupla tipo J lee la temperatura del agua dentro del tanque de proceso, para evidenciar si la temperatura está por encima o por debajo del *set-point*, y enviar la información al controlador para que este decida qué operación deben ejecutar los demás elementos. En el caso que la temperatura supere el *set-point*; el controlador emite la orden que la cantidad de corriente que está siendo administrada a la resistencia debe disminuir, para mantener el equilibrio del sistema. Esta señal llega al “Variador de Voltaje OPTEC”; que hace las veces de transductor entre el controlador y la resistencia de calentamiento, que se encarga de ejecutar la orden.

3.3.3 Elementos finales de control:

Son los encargados de ejecutar la decisión tomada por el controlador, para mantener en los puntos de control las variables que se deben controlar. Estos elementos son principalmente válvulas y bombas.

3.3.3.1 Válvula abre-cierre (Sistema de control de nivel):

La válvula utilizada para el lazo de control de nivel de agua en el tanque principal es una “Válvula solenoide ref. 91138”. Su función es abrirse o cerrarse totalmente, dependiendo de la señal enviada por el controlador de nivel.

3.3.3.2 Resistencia de calentamiento (Sistema de calentamiento eléctrico):

La resistencia empleada en el piloto de laboratorio puede proporcionar hasta 1800 V, es decir proporciona una respuesta rápida una vez el sistema empieza a funcionar. Es regulada a través de un “Variador de Voltaje

OPTEC”; que se encarga de traducir la orden enviada por el controlador al elemento final; y así garantizar que el lazo de control siempre funcione de manera continua.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

PRÁCTICA DE LABORATORIO No. 6

Título: Lazo cerrado. Modo proporcional.

Competencias

- ❖ El estudiante comprende el comportamiento de un sistema de control en modo proporcional y conoce su funcionamiento.

Logros

- Conoce la ecuación que describe un controlador en modo proporcional.
- Está en capacidad de identificar los parámetros influyentes en un lazo de control que opera en modo proporcional.
- Conoce las ventajas y desventajas de este tipo de control.
- Tiene los conocimientos teóricos necesarios para evaluar el comportamiento del sistema.

Materiales y equipos

- 1 Probeta de 2 litros
- 1 Cronómetro
- 1 Termómetro
- 2 Envase plástico
- 2 Baldes
- 1 Plancha de calentamiento

Procedimiento

- 1) Provea el tanque de alimentación con agua a 24°C y proceda a llenar el tanque principal hasta el volumen establecido por el control de nivel.
- 2) Encienda el piloto y ubique el *set-point* a una temperatura de 37°C.

Actividades

1. Realice una gráfica de temperatura en el tanque principal vs. Tiempo.
2. Analice, mediante los resultados obtenidos de la práctica, la influencia del porcentaje de la banda proporcional en la velocidad de respuesta del sistema.
3. Encuentre el porcentaje de banda proporcional óptimo, respecto al error en el estado estacionario. Justifique su respuesta con una gráfica o un cuadro comparativo.
4. Simule el sistema en lazo cerrado, utilizando la herramienta de *Matlab: Simulink* y compare los resultados obtenidos con los datos experimentales.

PRÁCTICA DE LABORATORIO No. 7

Título: Lazo cerrado. Modo proporcional-integral.

Competencias

- ❖ Comprende el comportamiento de un sistema de control en modo proporcional-integral y conoce su funcionamiento.

Logros

- Conoce la ecuación que describe un controlador en modo proporcional-integral.
- Está en capacidad de identificar los parámetros influyentes en un lazo de control que opera en modo proporcional-integral.
- Conoce las ventajas y desventajas de este tipo de control.
- Tiene los conocimientos teóricos necesario para evaluar el comportamiento del sistema.

Materiales y equipos

- 1 Probeta de 2 litros.
- 1 Cronómetro.
- 1 Termómetro.
- 2 Envase plástico.
- 2 Baldes.
- 1 Plancha de calentamiento.

Procedimiento

- 1) Provea el tanque de alimentación con agua a 24°C y proceda a llenar el tanque principal hasta el volumen establecido por el control de nivel.
- 2) Encienda el piloto y ubique el *set-point* a una temperatura de 37°C.
- 3) Posteriormente, fije la banda proporcional (P) en un 100% y el tiempo reajuste (I) en 3600 seg.

Actividades

1. Elabore una gráfica de temperatura en el tanque principal vs. Tiempo.
2. Analice, mediante los resultados obtenidos de la práctica, la influencia del valor de tiempo de reajuste, en la velocidad de respuesta del sistema.
3. Encuentre el valor óptimo de tiempo de reajuste, respecto al error en el estado estacionario. Justifique su respuesta.
4. Con los datos obtenidos en la práctica No. 7, compare para las mismas condiciones, el comportamiento del sistema en modo proporcional y proporcional-integral.
5. Simule el sistema en lazo cerrado, utilizando la herramienta de *Matlab: Simulink* y compare los resultados obtenidos con los datos experimentales.

PRÁCTICA DE LABORATORIO No. 8

Título: Lazo cerrado. Modo proporcional-integral-derivativo.

Competencias

- ❖ Comprende el comportamiento de un sistema de control en modo proporcional-integral-derivativo y conoce su funcionamiento.

Logros

- Conoce la ecuación que describe un controlador en modo proporcional-integral-derivativo.
- Está en capacidad de identificar los parámetros influyentes en un lazo de control que opera en modo proporcional-integral-derivativo.
- Conoce las ventajas y desventajas de este tipo de control.
- Tiene los conocimientos teóricos necesario para evaluar el comportamiento del sistema.

Materiales y equipos

- 1 Probeta de 2 litros
- 1 Cronómetro
- 1 Termómetro
- 2 Envase plástico
- 2 Baldes
- 1 Plancha de calentamiento

Procedimiento

- 1) Provea el tanque de alimentación con agua a 24°C y proceda a llenar el tanque principal hasta el volumen establecido por el control de nivel.
- 2) Encienda el piloto y ubique el *set-point* a una temperatura de 37°C.

Actividades

1. Realice una gráfica de temperatura en el tanque principal vs. Tiempo.
2. Analice la influencia del valor de rapidez de derivación (D), en la velocidad de respuesta del sistema y respecto al error en estado estacionario.
3. Encuentre el valor óptimo de rapidez de derivación, basándose en el análisis realizado en el numeral anterior.
4. Con los datos obtenidos en las prácticas No. 6 y 7, compare para las mismas condiciones, el comportamiento del sistema en modo P, PI y PID.
5. Simule el sistema en lazo cerrado, utilizando la herramienta de *Matlab: Simulink* y compare los resultados obtenidos con los datos experimentales.