

Sistema didáctico para el control de nivel

CHARRE-IBARRA, Saida
GUDIÑO-LAU, Jorge
ALCALÁ-RODRÍGUEZ, Janeth
DURÁN-FONSECA, Miguel-Angel

ECORFAN®

ECORFAN-México

Autores

CHARRE-IBARRA, Saida. PhD
GUDIÑO-LAU, Jorge. PhD
ALCALÁ-RODRÍGUEZ, Janeth. PhD
DURÁN-FONSECA, Miguel-Angel. PhD

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Sistema didáctico para el control de nivel

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley de Derechos de Autor, podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos, de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Visite nuestro sitio WEB en: www.ecorfan.org

Primera Edición

ISBN: 978-607-8695-78-2

Sello Editorial ECORFAN: 607-8695

Número de Control B: 2022-06

Clasificación B (2022):281022-0006

A los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209, y otra fracción aplicable III de la Ley del Derecho de Autor.

Books

Definición de Books

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en las Áreas de investigación CONACYT y PRODEP.

ECORFAN-Mexico S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

Alcances, Cobertura y Audiencia

Books es un Producto editado por ECORFAN-Mexico S.C en su Holding con repositorio en México, es una publicación científica arbitrada e indizada. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de las Área de investigación CONACYT y PRODEP respectivamente con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD
Université des Sciences et Technologies de Lille

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD
Centro de Microelectrónica de Barcelona

TELOXA - REYES, Julio. PhD
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD
Universidad Politécnica de Madrid

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD
Universidad Central del Ecuador

Comité Arbitral

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD
Instituto Politécnico Nacional

LOAEZA - VALERIO, Roberto. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

ALVAREZ - SÁNCHEZ, Ervin Jesús. PhD
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada

SALAZAR - PERALTA, Araceli. PhD
Universidad Autónoma del Estado de México

MORALES - CARBAJAL, Carlos. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

BAUTISTA - VARGAS, María Esther. PhD
Universidad Autónoma de Tamaulipas

GAXIOLA - PACHECO, Carelia Guadalupe. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

Cesión de Derechos

El envío de una Obra Científica a ECORFAN Books emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones científicas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación de la Obra Científica y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORCID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor de la Obra Científica.

Detección de Plagio

Todas las Obras Científicas serán testeadas por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirán de la recepción de la Obra Científica notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todas las Obras Científicas se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del ECORFAN Books con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de la Obra Científica Modificado para Edición-Publicación.

Sistema didáctico para el control de nivel

Didactic system for level control

CHARRE-IBARRA, Saida*†, GUDIÑO-LAU, Jorge, ALCALÁ-RODRÍGUEZ, Janeth, and DURÁN-FONSECA, Miguel-Angel

Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica, Carretera Manzanillo-Barra de Navidad Km. 20.5, El Naranjo, 28860, Manzanillo, Colima, México

ID 1^{er} Autor: *Saida, Charre-Ibarra* / **ORC ID:** 0000-0002-3823-5388, **Researcher ID Thomson:** Q-6851-2018, **arXiv Author ID:** saidacharre

ID 1^{er} Coautor: *Jorge, Gudiño-Lau* / **ORC ID:** 0000-0002-0585-908X

ID 2^{do} Coautor: *Janeth A, Alcalá-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-0238-3952

ID 3^{er} Coautor: *Miguel Angel, Durán-Fonseca* / **ORC ID:** 0000-0002-0780-6192

DOI: 10.35429/B.2022.1.1.63

Sistema didáctico para el control de nivel

El Book ofrecerá contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica de la Universidad de Colima para su área de investigación en la función de la Universidad ante los retos de la Sociedad del Conocimiento. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores de la Universidad de Colima, se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR y REDIB), el Book propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en la función de la Universidad ante los retos de la Sociedad del Conocimiento.

Contenido

Abstract	1
Resumen	2
Introducción	3
1. Diseño e Implementación de la Estación de Trabajo Didáctica	5
1.1 Diseño de la estación de trabajo didáctica para la variable nivel	5
1.2 Dispositivo de medición	7
1.3 Controlador digital configurable Hanyoung PX9	9
1.4 Elemento final de control	11
1.5. Bomba centrífuga	12
1.6. Presentación física	13
2. Caracterización del proceso	14
2.1. Sistema de adquisición de datos	14
2.2. Registrador	15
2.3. Proceso caracterizado	16
3. Diseño y programación del controlador PID	22
3.1. Controlador PID	22
3.2. Programa del controlador PID	23
3.3. Sintonización del controlador PID	25
4. Diseño y programación del simulador	27
4.1 Diseño del simulador	27
4.2 Programación del simulador	28
4.3. Panel frontal del simulador	29
5. Prácticas	30
6. Resultados	53
Conclusiones	56
Referencias	57

Abstract

This paper presents and discusses a didactic level control system with open architecture. A configurable digital controller was installed in the module and a virtual controller was also programmed, in order to create a flexible system open to evolution. In the educational system, different controllers can be experimented with and their components can be replaced by others, only with the restriction that they handle the standard signals of equivalent instrumentation, in order to avoid it being obsolete. This type of laboratory equipment allows to better understand and conceptualize the events that occur in industrial processes and to explore the effects of modifications, stimulating creativity.

Teaching Workstation, level, virtual controller, open architecture, PID

Resumen

En el presente trabajo se presenta y discute un sistema didáctico para el control de la variable nivel en arquitectura abierta. Se instaló en el módulo un controlador digital configurable y además se programó un controlador virtual, con la finalidad de crear un sistema flexible y abierto a la evolución. En el sistema didáctico se puede experimentar con diferentes controladores y sus componentes se pueden sustituir por otros, únicamente con la restricción de que manejen las señales estándares de instrumentación equivalentes, con la finalidad de evitar que sea obsoleta. Este tipo de equipo de laboratorio permite comprender y conceptualizar en mejor forma los eventos que ocurren en procesos industriales y explorar los efectos de las modificaciones, estimulando la creatividad.

Estación de trabajo didáctica, Nivel, Controlador virtual, Arquitectura abierta, PID

Introducción

La aplicación del control de procesos contribuye a que las empresas sean competitivas y reduzcan los costos de producción, mientras que simultáneamente mejoran la calidad, la fiabilidad, la modernidad y la durabilidad de sus productos. Lo que implica el conocimiento del control automático de procesos continuos, tales como: cambios de temperatura, contenidos de materiales líquidos en tanques, presión en sistemas, intensidad de luz, velocidad de rotación, entre otros; por lo que es imprescindible la capacitación en esta área y los módulos didácticos forman parte del diseño instruccional, utilizándose como un recurso para aprender. y entender paso a paso cualquier material contenido en un curso educativo (Guerrero-Hernández et al., 2016).

En la actualidad el desarrollo de las tecnologías computacionales e informáticas ha dado paso a un nuevo horizonte en el aprendizaje y la enseñanza de prácticas de laboratorio en todo el mundo. Además de los tradicionales ejercicios prácticos de laboratorio, los del tipo virtual-simulado están jugando un papel cada vez más dominante (Alam et al., 2014). La simulación en ambientes virtuales puede ser una poderosa herramienta para situar a los estudiantes en escenarios "prácticos" a los que difícilmente podrían acceder en la realidad, permitiendo establecer un mayor grado de equidad en el proceso de enseñanza (Fredes et al., 2012).

En el mercado hay empresas dedicadas al diseño y fabricación de equipos didácticos con calidad y garantía, pero están construidas como sistemas cerrados y sus costos son elevados para ser adquiridos por instituciones educativas; por lo que es importante promover el desarrollo y uso de equipos que cumplan con la filosofía del modelo educativo y sean elaborados en las mismas instituciones educativas (Guevara, et al., 2009). Lo cual conlleva el compromiso y preparación de los profesores y directivos involucrados en el proceso enseñanza aprendizaje (Río, et al., 2022).

Por lo que en el presente trabajo se diseña e implementa un sistema didáctico para el control de la variable nivel como sistema abierto, es decir que los principales dispositivos que la componen como el controlador, el sensor y el actuador pueden ser sustituidos por otros a elección del usuario, ya sea para probar la función de sus similares o debido a que la tecnología avanza y este sistema permite escalar la estación para evitar que llegue a ser obsoleta. El sistema didáctico incluye el uso de un controlador virtual implementado en LabVIEW, donde el usuario pueda modificar los parámetros del controlador y observe las respuestas gráficamente.

Para complementar el trabajo se diseña y programa un simulador, con el objetivo de predecir el resultado que se tendrá en el proceso real; y se proporciona una serie de prácticas para guiar los conocimientos que se obtienen experimentando con la estación didáctica.

El sistema diseñado e implementado hace uso de la PC y del lenguaje de programación gráfico LabVIEW. Con la utilización de este lenguaje se realiza un programa para permitir el control, análisis y presentación en forma gráfica de la evolución de las variables.

La variable del proceso (nivel) se controla mediante tres opciones:

1. Haciendo uso de un controlador digital configurable Hanyoung PX9, basado en lógica difusa.
2. A través de la PC, utilizando un controlador implementado con LabVIEW, donde el usuario tiene la opción de variar algunos parámetros del controlador y seleccionar un punto de ajuste.
3. Como sistema abierto, se tiene la opción de poder ser controlado por circuitos u otro tipo de controladores elegidos o diseñados por el usuario, que manejen la señal estándar de instrumentación (4-20 mA).

La estructura de este trabajo es la siguiente:

En el capítulo 1 se describe el proceso de diseño e implementación de la estación didáctica, así como también se proporciona información sobre los dispositivos utilizados en el proyecto.

La caracterización del proceso se muestra en el capítulo 2, y se realiza en base a la curva de reacción del proceso.

En el capítulo 3, se presenta la programación del controlador PID utilizando el software LabVIEW y la sintonización de él basándose en el método de Ziegler y Nichols.

En el capítulo 4, se diseña un simulador en LabVIEW para la estación, donde se simula la respuesta que tendrá el sistema, antes de demostrarlo físicamente, de manera que se pueda apreciar el contraste entre la teoría y las aproximaciones matemáticas con el comportamiento físico que se presenta en la realidad.

Con la idea de guiar los conocimientos que se obtienen experimentando con la estación didáctica, se plantean tres prácticas, las cuales se presentan en el capítulo 5.

El capítulo 6 para demostrar su funcionamiento se presentan las gráficas de la respuesta de los controladores, la variable del proceso y el punto de ajuste.

También dentro del trabajo se describe la operación de la estación, para evitar errores y por seguridad de los operarios.

Prototipo: Este trabajo fue financiado por la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima

1. Diseño e Implementación de la Estación de Trabajo Didáctica

1.1 Diseño de la estación de trabajo didáctica para la variable nivel

El control automático de procesos se define como “una manera de mantener la variable controlada en el punto de control, a pesar de las perturbaciones”, algunas de las razones más importantes producto de la experiencia industrial por las cuales esto es importante, son:

1. Evitar lesiones al personal de la planta o daño al equipo. La seguridad siempre debe estar en la mente de todos.
2. Mantener la calidad del producto (composición, pureza, color, etc.) en un nivel continuo y con un costo mínimo.
3. Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo (Smith & Corripio, 2004).

En el área de Instrumentación y Control, el estudio y análisis de sistemas de control de procesos involucran principalmente a las variables nivel, presión, flujo y temperatura.

Dentro de los procesos industriales la medición y el control de la variable nivel se hace imprescindible cuando se desea tener una producción continua, cuando un proceso requiere del control de volúmenes de líquidos o bien en el caso más simple, para evitar que un líquido se derrame. Aplicación del control de esta variable se observa en industrias dedicadas a la generación de energía eléctrica, purificadoras de agua, plantas de tratamiento de aguas, presas, entre otras.

A partir del diagrama a bloques de un lazo cerrado de control mostrado en la figura 1.1, se diseña la maqueta para la estación de trabajo.

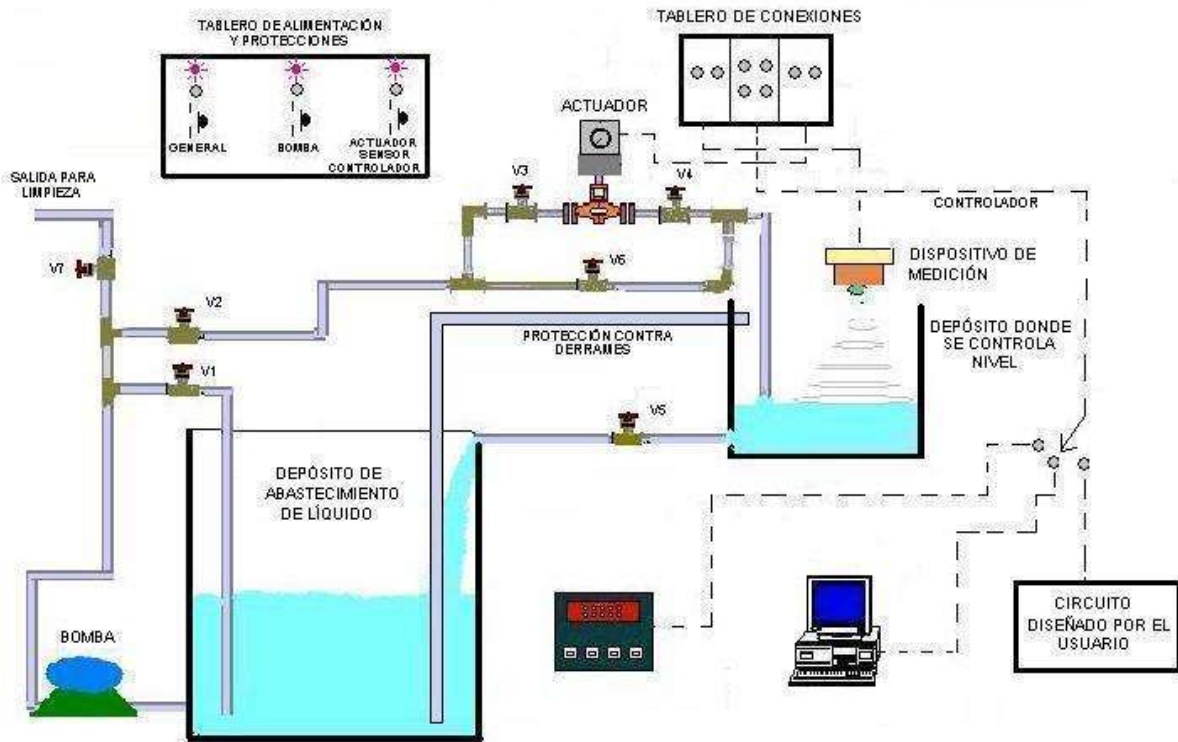
Figura 1.1 Sistema en lazo cerrado de control



Fuente: Elaboración Propia

La figura 1.2 corresponde a la estación de trabajo didáctica para la variable nivel con la característica tanque abierto. Este sistema consta de dos tanques sin presurizar, que son el depósito de abastecimiento con una capacidad de 160 litros (longitud = 79cm, altura = 45cm y anchura = 45cm) y el depósito que contiene a la variable controlada con una capacidad de 125 litros (longitud = 50cm, altura = 50cm y anchura = 50cm).

Figura 1.2 Estación de trabajo didáctica



Fuente: Elaboración Propia

El dispositivo de medición produce una señal de respuesta estándar de instrumentación amplificada, que representa el valor de la variable controlada, se considera implementar este bloque con un sensor ultrasónico. Esta señal es enviada al controlador, el cual hace una comparación entre el valor deseado de la variable controlada (punto de ajuste) y el valor actual. Basado en el error calcula una señal que refleje el valor necesario de la variable manipulada. Para la función del controlador se tienen contempladas tres opciones:

- Un controlador digital configurable Hanyoung PX9, instalado físicamente en la estación didáctica.
- Un controlador implementado en una computadora.
- Cualquier otro tipo de controladores elegidos o diseñados por el usuario, que manejen la señal estándar de instrumentación (4-20mA).

De manera que se experimente con diferentes tipos de controladores.

La señal obtenida por éstos es transmitida al elemento final de control (actuador), el cual manipula la entrada al proceso.

La estación didáctica se diseña como sistema abierto, es decir que los principales dispositivos que la componen como el controlador, el sensor y el actuador pueden ser sustituidos por otros a elección del usuario, ya sea para probar la función de sus similares o debido a que la tecnología avanza y este sistema permite escalar la estación para evitar que llegue a ser obsoleta. En base a lo anterior se instala un tablero de conexiones en donde se presentan de manera externa la salida obtenida del sensor, la entrada al actuador y la salida y la entrada del controlador.

Para evitar el derramamiento del líquido debido a que se sobrepasa el nivel de 100% fijado, en el depósito que contiene la variable controlada, se coloca una tubería a un nivel mayor del 100% que envíe el líquido al depósito de abastecimiento.

Por seguridad se instala un tablero de alimentación y protecciones.

Se instalan siete válvulas nombradas v1, v2, v3, v4, v5, v6 y v7. Para un ciclo normal de trabajo solo deben permanecer abiertas las válvulas v1, v2, v3, v4 y v5; la v1 sirve para no forzar la bomba en caso de que el elemento final de control no permita el paso y la v5 representa el gasto del depósito que contiene la variable controlada. En caso de abrir la v6 se dejaría fuera de funcionamiento al actuador. Para limpieza y cambio de líquido se abre la válvula v7 y la v1 y v2 permanecen cerradas.

1.2 Dispositivo de medición

El dispositivo de medición proporciona una señal que representa el valor de la variable controlada. Aun cuando el control de la variable nivel parece algo sencillo, puede convertirse en un problema cuando el material es corrosivo o abrasivo, por esta razón se selecciona el sensor ultrasónico Banner Q45ULIU64ACR, que no necesita estar en contacto con el líquido debido a que emite una señal ultrasónica dirigida a el material a sensar y detecta la señal reflejada. En la figura 1.3 se muestra el sensor.

Figura 1.3 Sensor ultrasónico Banner Q45U



Fuente: (Banner, 2022)

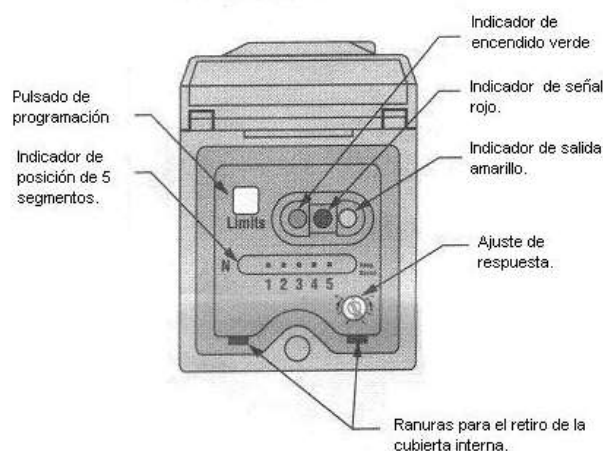
La tabla 1.1 presenta las características del sensor ultrasónico modelo Q45ULIU64ACR analógico.

Tabla 1.1 Características del sensor ultrasónico Q45U

Descripción	Sensor ultrasónico de alta precisión
Salidas	Analógica.
Rango de Sensado	Modo proximidad (0.1 a 1.4 m).
Dimensiones (h x w x d):	87.6 x 44.5 x 60.5 mm.
Encapsulado	Poliéster termoplástico VALOX y tapa transparente LEXAN.
Norma	ICE IP67; NEMA 6P.
Temperatura de operación	-25 a +70°C.
Alimentación	Modelos salidas analógica (15 a 24V DC).
Especificaciones de desarrollo	Repetibilidad de sensado: $\pm 0.1\%$ de la distancia medida (± 0.25 mm mínimo). Resolución de sensado: 0.25 mm. Resolución de salida analógica: 2mV, 3 μ A.
Salida analógica (cuando está disponible)	0 a 10V DC ó 4-20 mA (seleccionable).
Ruido	Filtro digital para inmunidad excepcional para ruido eléctrico y acústico.
Ajustes	Límites de ventana y Funciones DIP switch.

Fuente: (Idem)

En la figura 1.4 se observa la vista frontal del sensor con sus indicadores y botones.

Figura 1.4 Vista frontal del sensor ultrasónico Banner Q45U

Fuente: (Ibidem, p.2)



Los leds indicadores de estatus son visibles a través de la tapa transparente y en modo RUN su función es la siguiente:

- El LED verde está encendido constantemente siempre que esté alimentado, y parpadea para indicar una sobrecarga de salida de corriente.
- El LED rojo enciende cuando un eco es recibido, y parpadea a una velocidad que es proporcional a la intensidad del eco.
- El LED amarillo enciende siempre que la variable esté entre los límites de ventana de operación.

El indicador de posición de cinco segmentos muestra la posición relativa del objetivo dentro de la ventana de sensado programada. El LED #1 parpadea cuando el objetivo está más próximo al límite cercano. El LED #5 parpadea cuando el objetivo está más próximo al límite lejano.

El botón “Límites”, localizado bajo la tapa transparente, es usado para programar los límites cercano y lejano. El ancho de la ventana mínimo es de 10 mm. A continuación, en la tabla III, se explican los pasos de programación y el procedimiento empieza con el sensor en modo RUN.

Tabla 1.2 Pasos para programar límites de ventana

Botón de presión		Estado del indicador
<p>Paso 1</p> <p>Accesando al modo de programación del límite. Presionar y sostener hasta que el indicador verde se apague (aproximadamente 2 segundos).</p>	<p>Presione y mantenga por ≥ 2 seg.</p> 	<p>Verde: Se apaga. Amarillo: Encendido constantemente para indicar que está listo para la enseñanza del primer límite. Rojo: Parpadea para indicar la fuerza del eco o está apagado si el objetivo no está presente.</p>
<p>Paso 2</p> <p>AJUSTE DEL PRIMER LÍMITE. Situar el objetivo en el primer límite y presionar el botón por menos de 2 segundos.</p>	<p>Presione por < 2 seg.</p> <p>Colocar el objeto en el primer límite.</p> 	<p>Verde: Permanece apagado. Amarillo: Parpadea a 2 Hz para indicar que está listo para la enseñanza del segundo límite. Rojo: Empieza encendido por un momento, entonces parpadea para indicar la intensidad del eco.</p>

<p>Paso 3</p> <p>AJUSTE DEL SEGUNDO LÍMITE. Situarse el objetivo en el segundo límite y presionar el botón por menos de 2 segundos</p>	<p>Presione por < 2 seg.</p>  <p>Colocar el objeto en el segundo límite.</p>	<p>Verde: Permanece apagado, luego encendido fijo (regresa al modo RUN).</p> <p>Amarillo: Enciende por un momento, entonces enciende o apaga para indicar el estado de salida (regresa la modo RUN).</p> <p>Rojo: Se enciende por un momento, entonces parpadea para indicar la intensidad del eco (regresa al modo RUN).</p>
--	--	---

Fuente: (Idem)

El sensor se programa para que la altura del líquido que representa el límite inferior sea de 9.5 cm y del límite superior de 39.5 cm.

1.3 Controlador digital configurable Hanyoung PX9

Un controlador compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (el valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reducirá la desviación a cero o a un valor pequeño. La manera en la cual el controlador produce la señal de control se denomina acción de control (Ogata, 2010).

En este proyecto se instala de manera fija en la estación de trabajo didáctica, el controlador digital configurable Hanyoung PX9, para experimentar con un controlador comercial utilizado en la industria. En la figura 1.5 se muestra el controlador.

Figura 1.5 Controlador de procesos marca Hanyoung PX9



Fuente: (Hanyoung Nux)

Este controlador presenta las siguientes características:

- Lógica difusa.
- Auto sintonía.
- Salida de alarmas.
- Salida de retransmisión.
- Multi entrada-salida.
- Entrada de contacto externo.
- Zona PID.
- Grupo PID.
- Límites de salida.

Y sus especificaciones son las siguientes:

Alimentación:

Voltaje de alimentación: 100-240V~, 24V~.

Frecuencia: 50/60 Hz.

Variación de voltaje: $\pm 10\%$.

Entrada: Termocople, RTD, Voltaje directo.

Tiempo de ciclo de muestreo: 250 ms.

Impedancia de entrada: Termocople/voltaje (mV): alrededor de 1M

Entrada de voltaje (V): Aproximadamente 1M Ω .

Voltaje de entrada permisible: Termocople, RTD, voltaje directo (mV): $\pm 10V$.

Voltaje directo: $\pm 20V$.

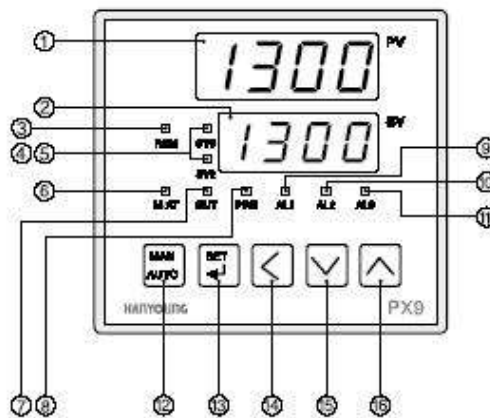
Exactitud: 0.1% de F.S.

Salida de corriente: 4~20mA DC.

Dimensiones: 96 x 96 mm.

La figura 1.6 muestra la parte frontal del controlador Hanyoung PX9.

Figura 1.6 Indicadores y teclas de control del controlador Hanyoung PX9



Fuente: (Hanyoung Nux)

La identificación de los indicadores del controlador se muestra en la tabla 1.3 y las teclas de control en la tabla 1,4.

Tabla 1.3 Indicadores del controlador Hanyoung PX9

Nombre de las partes respectivas	Funciones
1 Valor del proceso (PV)	Muestra el valor de la variable del proceso.
2 Valor-set (SV)	Muestra varios, variable del set, mensaje, y parámetro.
3 Indicador remoto	Ilumina cuando la operación es remota.
4, 5 Indicador que muestra el valor del set.	Ilumina cuando el SV2 y SV3 son mostrados.
6 Indicador de sintonía Manual/auto	Ilumina cuando el control es manual.
7 Indicador de salida	Ilumina cuando la salida de control está operando.
8 Indicador que muestra programa	Ilumina durante la operación del programa.
9 Indicador alarma 1	Ilumina cuando la alarma 1 opera.
10 Indicador alarma 2	Ilumina cuando la alarma 2 opera.
11 Indicador alarma 3	Ilumina cuando la alarma 3 opera.

Fuente: (Idem)

Tabla 1.4 Teclas de control del controlador Hanyoung PX9

Tecla	Funciones
12	Usada para seleccionar el control Auto o Manual.
13	Usada para cambiar desde el modo de operación al modo de ajuste, para seleccionar parámetros, y para registrar el valor set. Se presiona esta tecla por 3 segundos para mostrar el modo de ajuste, valor set, y valor del proceso.
14	Usada para seleccionar dígitos para cambio.
15	Usada para decrementar valores set y para seleccionar modo de ajuste.
16	Usada para incrementar valores set y para seleccionar modo de ajuste.

Fuente: (Idem)

El controlador presenta valores iniciales, los únicos ajustes realizados de acuerdo a la variable manejada en este proyecto, son:

- Selección de la señal de entrada = $InP = 30$. Debido a que el rango de la señal de entrada es de 1~5 V.
- Límite superior = $Fr-H = 5$.
- Límite inferior = $Fr-L = 1$.

Se realizó un ajuste en este grupo para la señal de salida, presionando la tecla set.

- Señal de salida = $oUt = 2$. Debido a que se desea corriente de salida.

Para sintonizar el controlador se utilizó la función de autosintonía que presenta, esta función automáticamente mide, calcula y ajusta el PID óptimo.

Para iniciar el proceso de autosintonía, se pone en funcionamiento la estación didáctica y dentro del grupo de autosintonía (G.At), la función inicio de autosintonía (At) se cambia a “auto”.

Seleccionando el grupo PID (G.Pid) en el controlador, se observan los parámetros del PID. El controlador después de la autosintonía muestra los siguientes valores de los parámetros:

- Banda proporcional (P) = $n.P = 6.4$
- Tiempo integral (I) = $n.I = 48$
- Tiempo derivativo (D) = $n.d = 12$

1.4 Elemento final de control

La válvula de control es un elemento final de control que produce la entrada para la planta de acuerdo con la señal de control, a fin de que la señal de salida se aproxime a la señal de entrada de referencia (Ogata, 2010). La electroválvula es un mecanismo que actúa como llave de paso de agua o de gas, el cual funciona con electricidad. La electroválvula utilizada para este proyecto se muestra en la figura 1.7.

Figura 1.7 Electroválvula Honeywell



Fuente: (Honeywell)

Las características Válvula eléctrica Honeywell modelo M7284A1004 son:

- El tren de engranaje está inmerso en aceite proporcionando un funcionamiento confiable y larga vida.
- El motor y circuito internos del actuador funcionan a partir de 24 VAC.
- Voltaje: 120V.
- Frecuencia: 50/60HZ.
- Consumo de potencia: 29VA.
- Torque: 150 lb-in.
- Rango de temperatura ambiente: -40°C a 60°C.
- Señal de control: 4-20mA.
- Peso: 8.83 lb.

1.5. Bomba centrífuga

Con la finalidad de facilitar la circulación del líquido a través del lazo de control representado por la estación didáctica se conecta una bomba centrífuga marca Clean Water Pump QB 60, mostrada en la figura 1.8. Las bombas centrífugas obtienen su nombre debido al hecho de elevar el líquido por la acción de la fuerza centrífuga, que imprime un rotor, colocado en su interior, el cual es accionado por un motor eléctrico.

Figura 1.8 Bomba centrífuga



Fuente: Elaboración Propia

Las características de la bomba centrífuga son las siguientes:

Bomba de agua eléctrica Modelo QB 60 ½ HP.

Bivolt 110/220v-60Hz.

Tecnología italiana.

Excelente acabado interno, rotor de bronce y óptimo aislamiento.

Presión máxima de 35 L/min.

Altura máxima = 35 metros.

Altura máxima de succión = 9 metros.

Presión máxima =10 bar.

Temperatura máxima de agua = 80 °C.

rpm.

Temperatura ambiente no debe exceder los 40°C.

Bajo consumo de energía.

Fácil instalación y bajo mantenimiento.

1.6. Presentación física

A continuación, se muestra en la figura 1.9, una foto de la estación de trabajo didáctica para la variable nivel, donde se observa la conclusión de la implementación física de la estación.

Figura 1.9 Presentación física de la estación de trabajo didáctica para la variable nivel



Fuente: Elaboración Propia

Como se describió en los puntos anteriores la estación didáctica maneja señales de corriente estándar de instrumentación, es decir el sensor ultrasónico proporciona una corriente de 4 a 20 mA, la válvula regula su abertura de acuerdo con la corriente recibida de 4 a 20 mA, y el controlador emite y recibe una corriente dentro de este mismo rango.

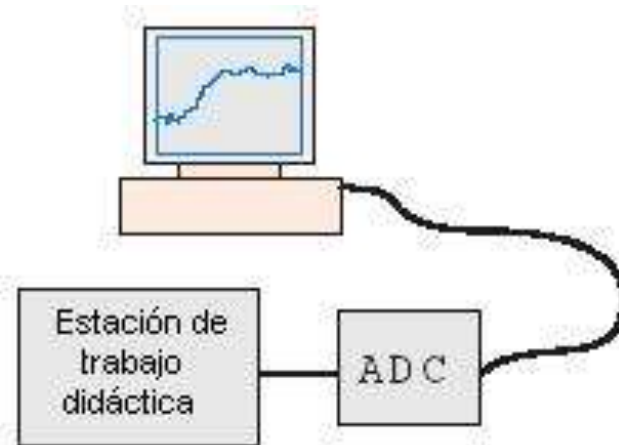
2. Caracterización del proceso

En un sistema de control de lazo cerrado, la variable de salida es continuamente medida y comparada con un valor deseado (Set Point). Si existe una diferencia entre estas dos variables (error e), se aplican ajustes hasta que la diferencia cuantificada es eliminada o disminuida y la variable controlada iguala o se acerca a la variable de referencia.

2.1. Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos está compuesto por los bloques mostrados en la figura 2.1.

Figura 2.1 Sistema de adquisición de datos



Fuente: Elaboración Propia

La recopilación y presentación de datos para la caracterización utiliza una computadora. La estación didáctica proporciona una señal analógica, por lo que se considera la utilización de la tarjeta de adquisición de datos NI PCI-6014 que se muestra en la figura 2.2, para lograr la comunicación entre la estación didáctica y la computadora.

Figura 2.2 NI PCI-6014 Tarjeta Básica E/S Multifunciones (c/salidas analógicas)



Fuente: (National Instruments)

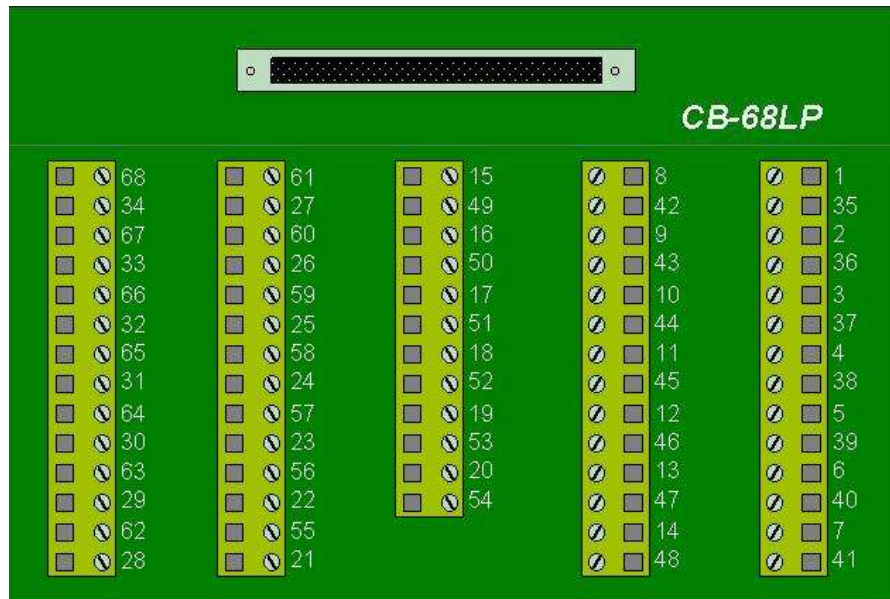
Las características que presenta son las siguientes:

- 16 entradas analógicas a 200kMuestras /seg, resolución de 16-bits.
- Dos salidas analógicas de 16 bits.
- 8 líneas E/S digitales.
- 2 contadores/temporizadores de 24-bits.
- Disparo digital.
- 4 rangos de señales de entrada.
- Software controlador para NI-DAQ para simplificar la configuración y mediciones.

- Excelente integración con LabVIEW, CVI y Measurement Studio para Visual Basic y Visual Studio .NET.

Para acceder o enviar datos a la tarjeta NI PCI-6014, se utiliza el bloque conector CB-68LP, mostrado en la figura 2.3.

Figura 2.3 Bloque conector CB-68LP



Fuente: (National Instruments)

Para elegir el lenguaje de programación adecuado se tomaron en cuenta las siguientes características:

- Interfaz visual con el usuario.
- Fácil manejo.
- Gran capacidad gráfica.
- Uso de interfaz TCP/IP.

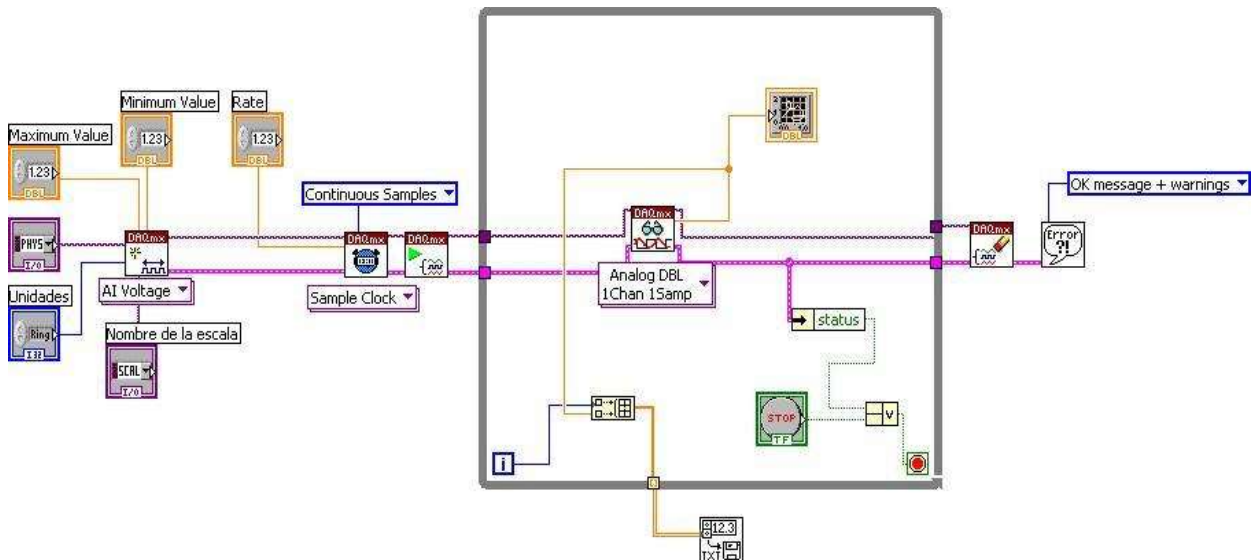
Todas estas características son reunidas por LabVIEW y además facilita el trabajo ya que es un programa enfocado hacia la instrumentación virtual, por lo que cuenta con numerosas herramientas de presentación, en gráficas, botones, indicadores y controles, los cuales son muy esquemáticos. Éstos serían complicados de realizar en ambientes de programación como C++ donde el tiempo para lograr el mismo efecto es muchas veces mayor. Por otra parte, también es un programa de mucho poder ya que cuenta con librerías especializadas para manejos de tarjetas de adquisición de datos (DAQ), redes, comunicaciones, análisis estadístico y comunicación con bases de datos.

Entonces utilizando este lenguaje de programación 100% gráfico, la computadora y la tarjeta de adquisición de datos, se implementa el sistema de adquisición de datos para lograr la caracterización del proceso.

2.2. Registrador

En la figura 2.4 se presenta el diagrama a bloques del registrador programado.

Figura 2.4 Diagrama de programa del registrador



Fuente: Elaboración Propia

El panel frontal del registrador se observa en la figura 2.5.

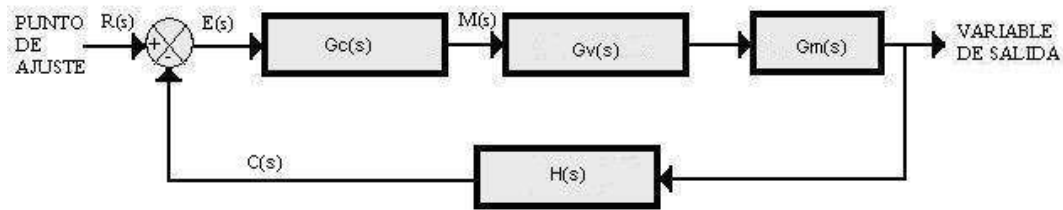
Figura 2.5 Panel frontal del registrador



Fuente: Elaboración Propia

2.3. Proceso caracterizado

Considerando el diagrama a bloques, que se muestra en la figura 2.6, de un circuito de control por retroalimentación.

Figura 2.6 Circuito de control por retroalimentación

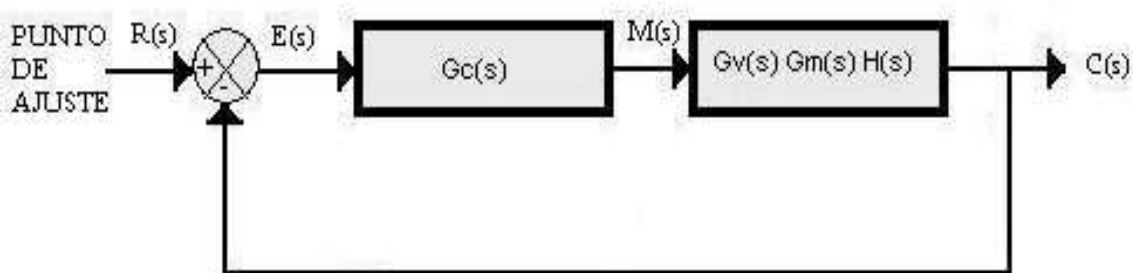
Fuente: Elaboración Propia

Donde los símbolos que aparecen son:

- R(s) Transformada de Laplace de la señal del punto de control.
- M(s) Transformada de Laplace de la señal de salida del controlador.
- C(s) Transformada de Laplace de la señal de salida del transmisor.
- E(s) Transformada de Laplace de la señal de error.
- Gc(s) Función de transferencia del controlador.
- Gv(s) Función de transferencia de la válvula de control (o elemento final de control).
- Gm(s) Función de transferencia del proceso entre la variable controlada y la variable manipulada.
- H(s) Función de transferencia del sensor-transmisor.

Y utilizando el álgebra de diagramas de bloques, se dibuja el diagrama equivalente en la figura 2.7; en este diagrama solo hay dos bloques en el circuito de control, uno para el controlador y otro para el resto de los componentes del circuito. La ventaja de esta representación simplificada estriba en que se destacan las dos señales del circuito que generalmente se observan y registran: la salida del controlador M(s) y la señal del transmisor C(s). Por lo tanto se concentran las funciones de transferencia de la válvula de control, del proceso y del sensor-transmisor, designada como G(s):

$$G(s) = Gv(s) Gm(s) H(s)$$

Figura 2.7 Diagrama de bloques equivalente y simplificado

Fuente: Elaboración Propia

La función de transferencia combinada G(s) es a la que se aproxima con el objeto de caracterizar la respuesta dinámica del proceso. Lo importante es que en el "proceso" caracterizado se incluye el comportamiento dinámico de la válvula de control y del sensor/transmisor. Uno de los modelos que comúnmente se utilizan para caracterizar al proceso es el siguiente:

Modelo de primer orden más tiempo muerto (POMTM)

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_o s}}{\tau s + 1} \quad (2.1)$$

Donde:

- K Ganancia del proceso en estado estacionario.
- t_o Tiempo muerto efectivo del proceso.
- τ Constante de tiempo efectiva del proceso.

En general, no es posible caracterizar completamente un proceso, por lo que se hace necesario emplear técnicas de aproximación. La mayoría de estas técnicas están basadas en la curva de reacción del proceso, la cual es la respuesta del proceso a un cambio instantáneo de la variable manipulada (la salida del controlador). Para determinar la curva de reacción del proceso, se recomiendan los pasos siguientes:

1. Dejar al sistema alcanzar un estado estacionario al nivel normal de carga.

Para este caso se alcanzó un estado estacionario en un 9.7% de llenado que corresponde a una altura de 12.4 cm.

2. Poner el controlador en manual.
3. Ajustar manualmente la salida del controlador al valor al cual estaba operando en automático.

Donde se observó que el controlador provocaba una abertura del 46% de la válvula, que es equivalente a alimentar la válvula con una señal de control de 2.84 V.

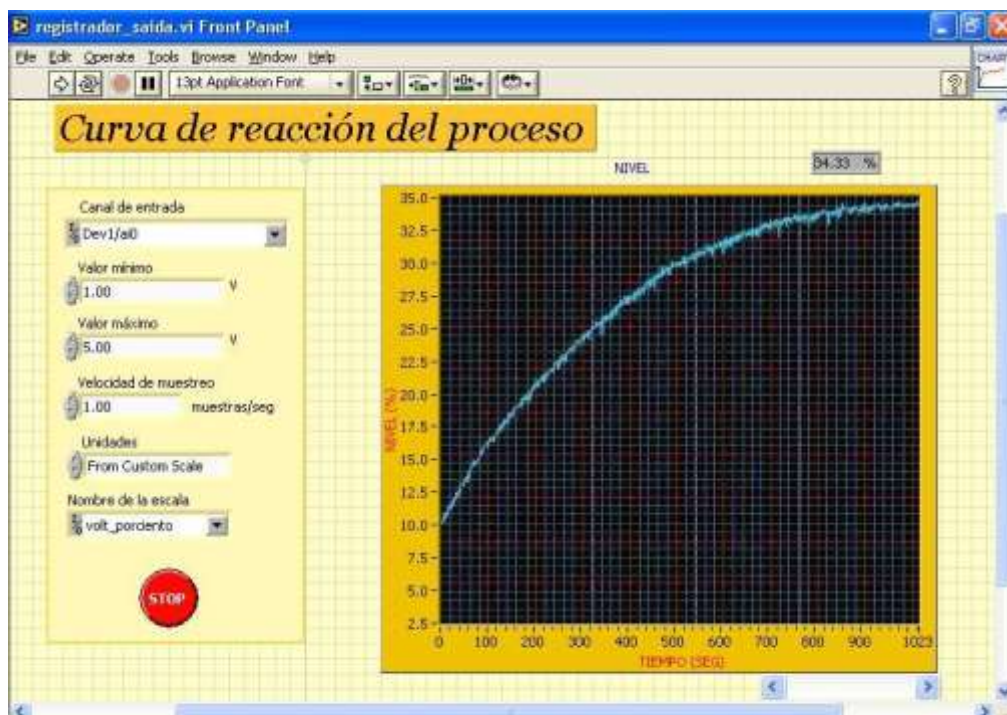
4. Permitir al sistema alcanzar un estado estacionario.
5. Con el controlador todavía en manual provocar un cambio instantáneo en la salida del controlador, la cual es la señal de salida a la válvula.

Se aplicó un escalón de 3.4 V a la válvula logrando una abertura del 60%.

6. Anotar o registrar la respuesta de la variable controlada (Nacif. 1994).

Se utilizó el registrador creado en LabVIEW, observando un estado estable al 34.33% de llenado, que corresponde a un nivel de 19.8 cm, la figura 2.8 muestra la curva obtenida.

Figura 2.8 Curva de reacción del proceso



Fuente: Elaboración Propia

En el diagrama del registrador, mostrado en la figura 2.4, se observa que el programa tiene la función de envío de datos a un archivo, en la tabla 2.1 se muestran algunos de estos datos obtenidos.

Tabla 2.1 Datos de la curva de reacción del proceso

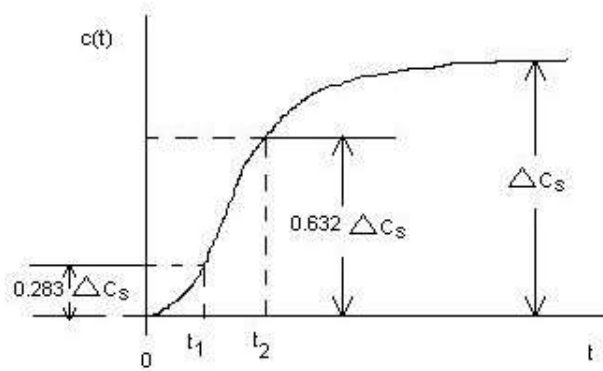
Tiempo (seg)	Nivel		Valor normalizado= valor – valor mínimo valor máx - valor mín
	%	(cm)	
0	9.667	12.400	0.00000000
1	9.703	12.411	0.00148649
2	9.993	12.498	0.01324324
3	9.873	12.462	0.00837838
4	10.059	12.518	0.01594595
5	9.853	12.456	0.00756757
6	10.333	12.604	0.02756757
7	10.326	12.598	0.02675676
8	10.083	12.525	0.01689189
9	10.359	12.608	0.02810811
10	10.213	12.564	0.02216216
35	12.151	13.146	0.10081081
36	12.344	13.204	0.10864865
37	12.197	13.160	0.10270270
38	11.671	13.002	0.08135135
39	12.291	13.188	0.10648649
40	12.707	13.313	0.12337838
77	14.715	13.916	0.20486486
78	14.765	13.931	0.20689189
115	16.716	14.517	0.28608108
116	16.663	14.501	0.28391892
117	16.886	14.568	0.29297297
118	16.793	14.540	0.28918919
127	17.136	14.643	0.30310811
128	17.229	14.671	0.30689189
129	17.029	14.611	0.29878378
130	17.322	14.699	0.31067568
131	17.156	14.649	0.30391892
176	19.307	15.295	0.39121622
177	19.360	15.311	0.39337838
178	19.257	15.280	0.38918919
179	19.627	15.391	0.40418919
180	19.463	15.342	0.39756757
181	18.861	15.161	0.37310811
182	19.680	15.407	0.40635135
183	19.530	15.362	0.40027027
184	19.607	15.385	0.40337838
185	19.796	15.442	0.41108108
186	19.850	15.458	0.41324324
187	19.147	15.247	0.38472973
188	19.643	15.396	0.40486486
243	21.921	16.080	0.4972973
244	22.254	16.180	0.51081081
245	22.151	16.149	0.50662162
246	23.798	16.181	0.51094595
247	22.051	16.119	0.50256757
248	21.664	16.003	0.48689189
249	22.350	16.209	0.51472973
312	24.565	16.874	0.60459459
313	24.628	16.893	0.60716216
314	24.029	16.713	0.58283784
315	24.498	16.854	0.60189189
316	24.568	16.875	0.60472973
317	24.488	16.851	0.60148649
318	24.738	16.926	0.61162162
328	25.201	17.065	0.63040541
329	24.875	16.967	0.61716216
330	25.174	17.057	0.62932432
331	25.311	17.098	0.63486486
332	25.337	17.106	0.63594595
387	26.936	17.586	0.70081081

388	26.746	17.529	0.69310811
389	26.986	17.601	0.70283784
390	27.306	17.697	0.71581081
391	26.986	17.601	0.70283784
392	26.793	17.543	0.69500000
477	29.427	18.334	0.80189189
478	29.370	18.317	0.79959459
479	29.533	18.366	0.80621622
480	29.337	18.307	0.79824324
481	28.967	18.196	0.78324324
524	29.970	18.497	0.82391892
525	30.276	18.589	0.83635135
526	30.266	18.586	0.83594595
527	30.149	18.551	0.83121622
528	30.186	18.562	0.83270270
529	30.392	18.624	0.84108108
530	30.219	18.572	0.83405405
531	30.459	18.644	0.84378378
532	30.139	18.548	0.83081081
533	30.273	18.588	0.83621622
534	30.259	18.584	0.83567568
535	30.402	18.627	0.84148649
608	31.202	18.867	0.87391892
609	31.495	18.955	0.88581081
610	31.548	18.971	0.88797297
611	31.451	18.942	0.88405405
612	31.621	18.993	0.89094595
613	31.691	19.014	0.89378378
847	34.012	19.711	0.98797297
848	34.042	19.720	0.98918919
849	33.866	19.667	0.98202703
850	34.618	19.893	1.01256757
851	33.869	19.668	0.98216216
852	34.299	19.797	0.99959459
853	34.135	19.748	0.99297297
854	34.309	19.800	1.00000000
1018	34.532	19.867	1.00905405
1019	34.435	19.838	1.00513514
1020	34.325	19.805	1.00067567
1021	34.405	19.829	1.00391892
1022	34.452	19.843	1.00581081
1023	34.330	19.810	1.00135135

Fuente: Elaboración Propia

Para la estimación de t_0 y τ en el modelo POMTM, se utiliza el método del Doctor Cecil L. Smith, quien propone que los valores de t_0 y τ se seleccionen de tal manera que la respuesta del modelo y la real coincidan en la región de alta tasa de cambio (Smith & Corripio, 2004). Para localizar dichos puntos se ubican los valores del tiempo en el cual se tiene un incremento de 28.3% y 63.2% en la señal obtenida del sensor, como se muestra en la figura 2.9 (Idem).

Figura 2.9 Parámetros del modelo POMTM que se obtienen por medio del método del Dr. Cecil L. Smith



Fuente: Elaboración Propia

En base a la curva de reacción del proceso mostrada en la figura 2.8 y la tabla 2.1, se localizan los puntos correspondientes a t_1 y t_2 .

$t_1 =$ Tiempo en el cual $\Delta C = 0.283 \Delta C_s = 115$ s

$t_2 =$ Tiempo en el cual $\Delta C = 0.632 \Delta C_s = 328$ s

Por lo tanto

$$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1) = \frac{3}{2}(328 - 115) = 319.5 \quad (2.2)$$

$$t_o = t_2 - \tau = 328 - 319.5 = 8.5 \quad (2.3)$$

Calculando la ganancia del proceso en estado estacionario

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{\Delta salida}{\Delta entrada} = \frac{(19.8 - 12.4) \text{ cm}}{(3.4 - 2.84) \text{ v}} = 13.21 \frac{\text{cm}}{\text{v}} \quad (2-4)$$

En base a la ecuación 2.1, la función de transferencia es

$$G(s) = \frac{13.21e^{-8.5s}}{319.5s + 1} \quad (2.5)$$

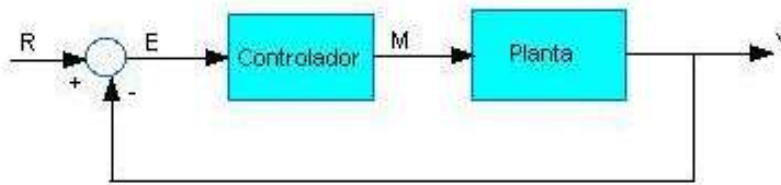
La curva de reacción del proceso y la ganancia deberán determinarse al nivel de operación al cual el sistema va a trabajar.

3. Diseño y programación del controlador PID

3.1. Controlador PID

En la figura 3.1 se muestra el bloque conformado por un controlador PID, dentro de un sistema de control retroalimentado, donde el bloque de la planta representa el sistema a controlar.

Figura 3.1 Sistema de control retroalimentado



Fuente: Elaboración Propia

La variable (E) representa el error, la diferencia entre el valor deseado de la entrada (R), y la salida real (Y). Esta señal de error (E) es enviada al controlador PID, y el controlador calcula la parte proporcional, derivativa e integral de esta señal de error. La señal (M), dependiendo del algoritmo PID es igual a:

$$\text{Paralelo:} \quad M = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (3.1)$$

$$\text{Serie:} \quad M = K \left(e + K_I \int e dt \right) \left(1 + K_D \frac{de}{dt} \right) \quad (3.2)$$

$$\text{Mixto:} \quad M = K \left(e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \right) \quad (3.3)$$

Donde:

K es la ganancia del controlador.

K_p es la ganancia proporcional.

K_I es la ganancia integral.

K_D es la ganancia derivativa.

Esta señal M es enviada a la planta, y la nueva salida (Y) es obtenida. Esta nueva salida (Y) es enviada de nuevo al sensor para encontrar la nueva señal de error (E). El controlador toma de nuevo esta señal de error y calcula la nueva señal M requerida para el control de la planta.

Un controlador proporcional (P) tiene el efecto de reducir el tiempo de subida, pero nunca elimina el error de estado estable. Un controlador integral (I) tiene el efecto de eliminar el error de estado estable, pero puede empeorar la respuesta transitoria. Un controlador (D) derivativo tiene el efecto de aumentar la estabilidad del sistema, reduciendo el sobreimpulso y mejorando la respuesta transitoria. Los efectos de cada uno de estos controladores se resumen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Efectos de los controladores P, I y D

Controlador	Tiempo de subida	Sobreimpulso	Tiempo de establecimiento	Error en estado estable
P	Disminución	Aumento	Cambio pequeño	Disminución
I	Disminución	Aumento	Aumento	Eliminación
D	Cambio pequeño	Disminución	Disminución	Cambio pequeño

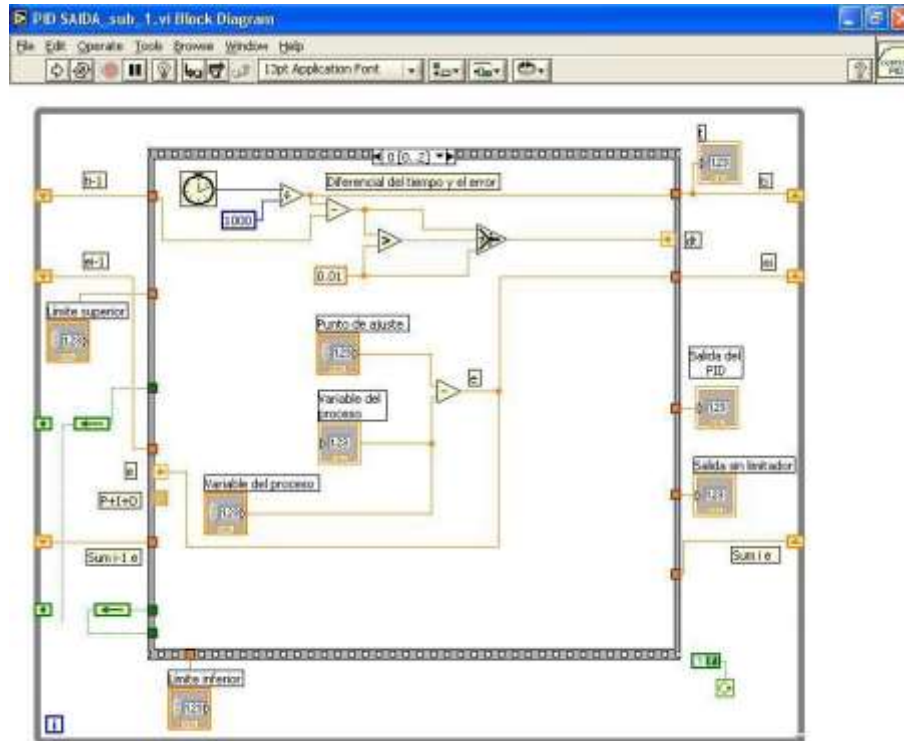
Fuente: (Åström & Hagglund)

Se elige implementar un controlador en paralelo, donde las acciones P, I y D son independientes.

3.2. Programa del controlador PID

Se realiza el programa en base a la expresión correspondiente a un controlador PID en paralelo (ecuación 3-1). El programa del controlador inicia con el cálculo del diferencial de tiempo y el error. En la figura 3.2 se muestra el programa realizado en LabVIEW (National Instruments).

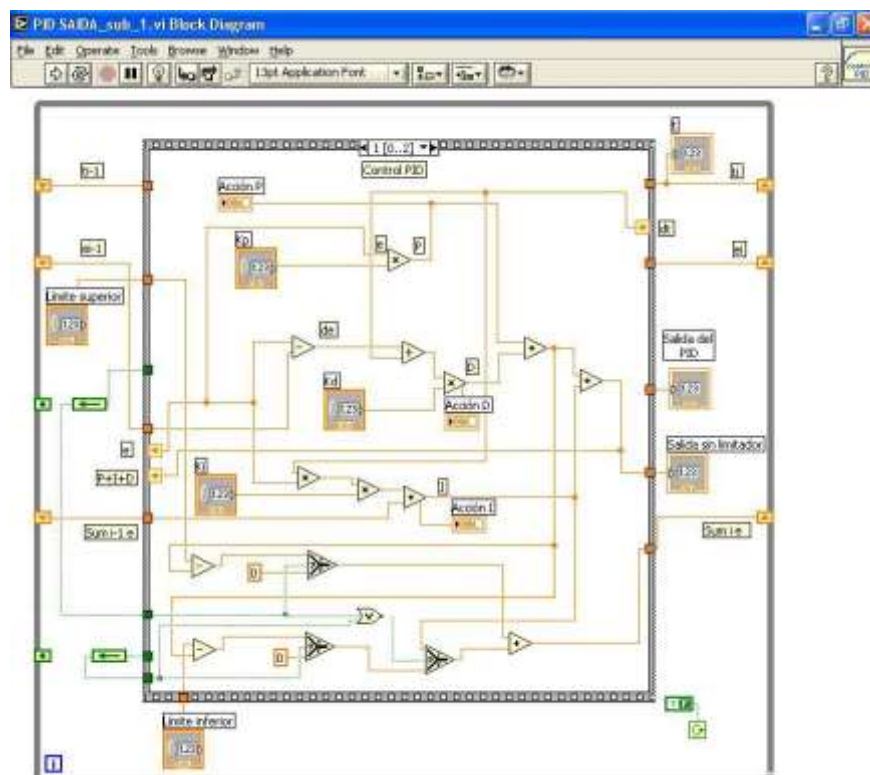
Figura 3.2 Rutina del controlador donde se calcula el diferencial del tiempo y el error



Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se determina la parte proporcional, derivativa e integral del controlador. La figura 3.3 muestra lo anterior.

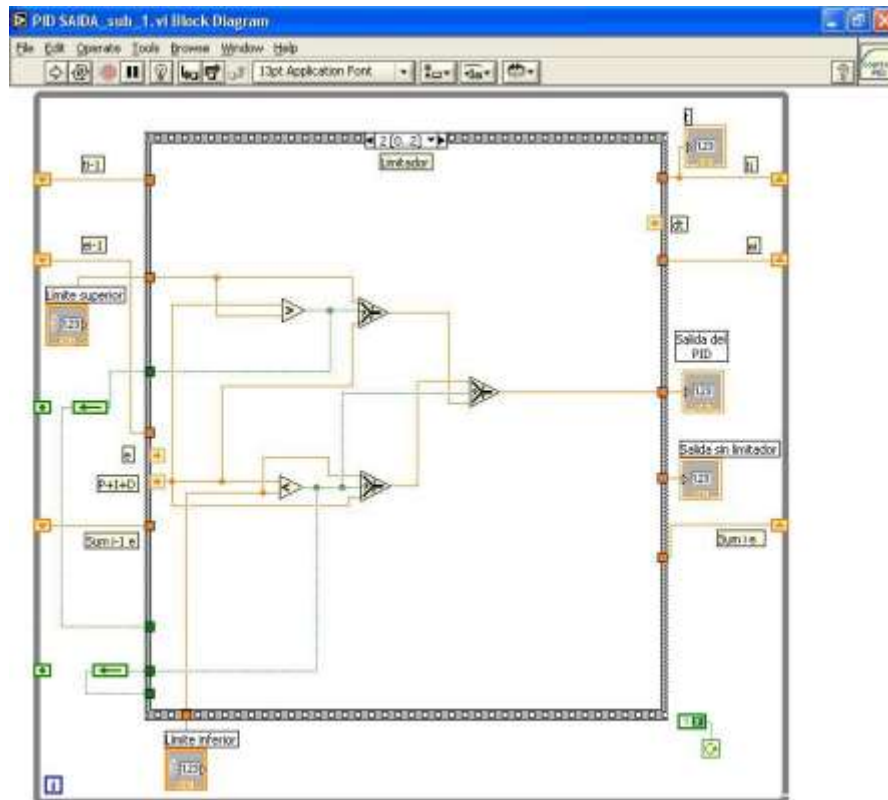
Figura 3.3 Rutina del controlador donde se calcula la parte proporcional, derivativa e integral



Fuente: Elaboración Propia

Como protección antes de enviar la señal a la planta, se realiza un limitador de salida para el controlador, el cual se muestra en la figura 3.4.

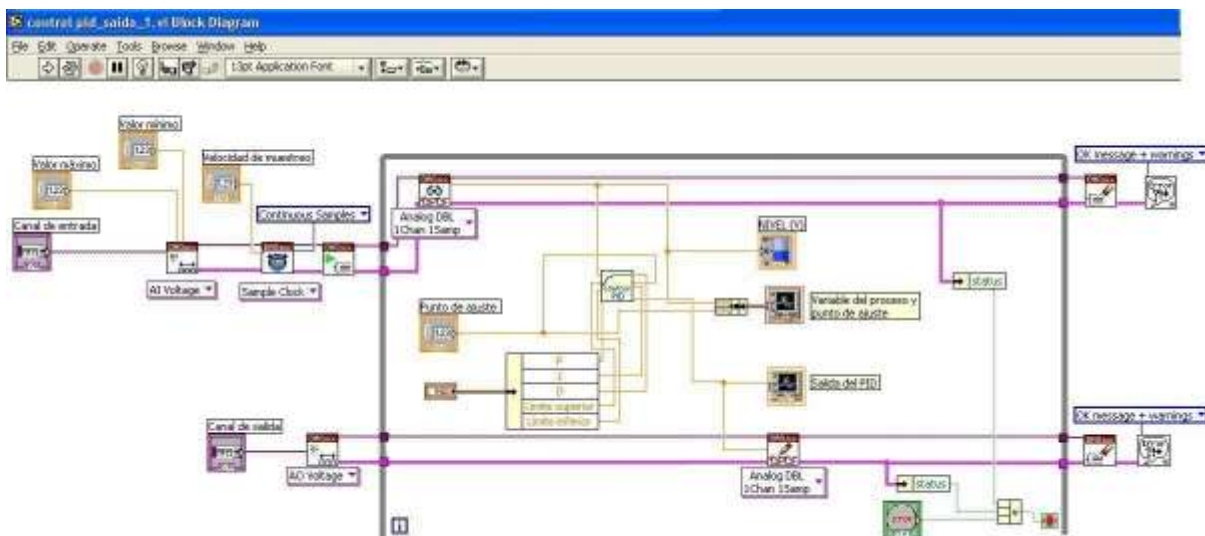
Figura 3.4 Limitador del controlador PID



Fuente: Elaboración Propia

El controlador PID implementado se inserta como un subinstrumento dentro del programa principal, como se observa en la figura 3.5, donde se experimenta con los diversos parámetros del PID, se observan gráficas, se seleccionan canales y se fijan puntos de ajuste.

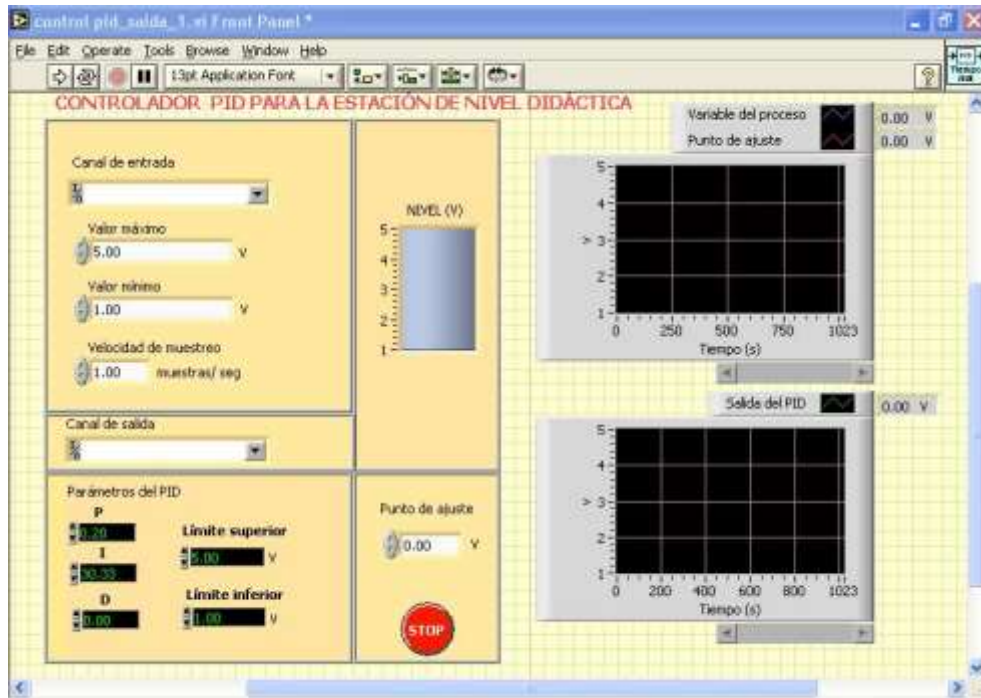
Figura 3.5 Diagrama a bloques elaborado en LabVIEW del controlador PID



Fuente: Elaboración Propia

La figura 3.6 muestra el panel frontal del controlador PID. Donde se pueden observar las gráficas de la variable del proceso, punto de ajuste y salida del PID; se fijan puntos de ajuste; se experimenta con los parámetros del controlador PID; se seleccionan el canal de salida y el canal de entrada, así como los límites.

Figura 3.6 Panel frontal del controlador PID



Fuente: Elaboración Propia

3.3. Sintonización del controlador PID

El método de la ganancia última, conocido también como método de circuito cerrado o ajuste en línea, es para la sintonización de controladores, lo propusieron Ziegler y Nichols, en 1942 y consta de dos pasos (Smith & Corripio, 2004):

1. Determinación de las características dinámicas o personalidad del circuito de control.

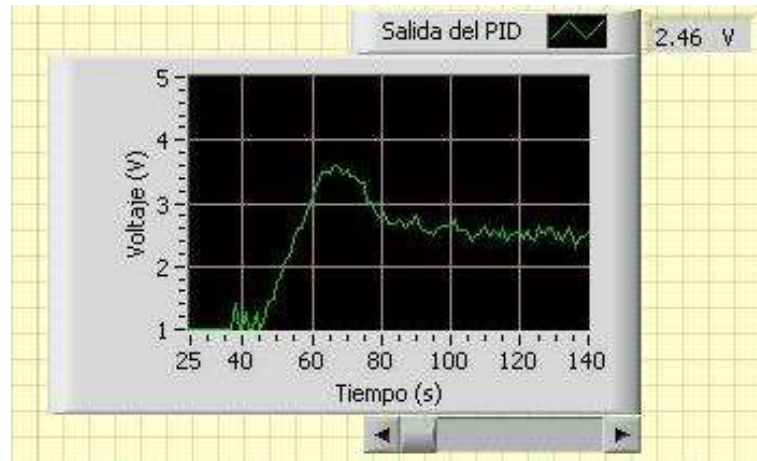
Los parámetros mediante los cuales se representan las características dinámicas del proceso son: la ganancia última de un controlador proporcional, y el período último de oscilación, los cuales se determinan mediante el siguiente procedimiento.

- a) Desconectar las acciones integral y derivativa del controlador por retroalimentación, de manera que se tenga un controlador proporcional.

Para lograr esto se conectó la estación didáctica en lazo cerrado, y se ajustó el controlador para una ganancia integral y derivativa nulas ($I=D=0$).

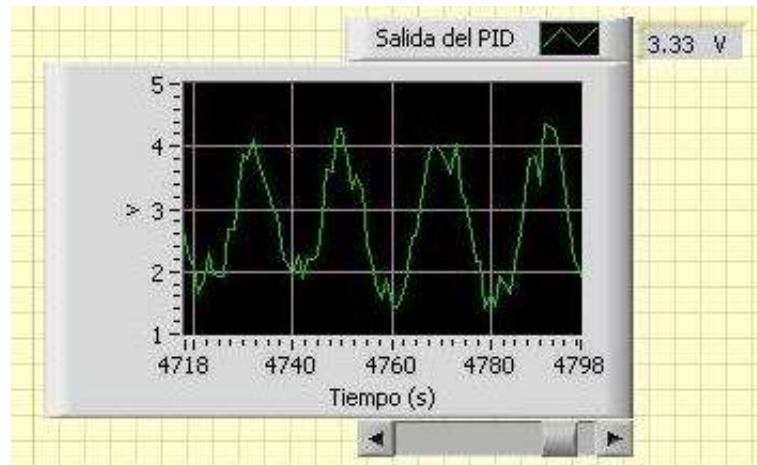
- b) Con el controlador en automático se incrementa la ganancia proporcional, hasta que el circuito oscila con amplitud constante. La ganancia proporcional se debe modificar con incrementos discretos, alterando el sistema con la aplicación de pequeños cambios en el punto de control a cada cambio en el establecimiento de la ganancia.

Se fijó la ganancia proporcional en un valor arbitrario $P=1$, se provocó un disturbio en el proceso (el punto de ajuste se cambió del 20% equivalente a 1.8 V al 21% equivalente a 1.84 V y se regresó nuevamente al 20%) y se observó que la salida del controlador era como se presenta en la figura 3.7.

Figura 3.7 Salida del controlador PID con P=1, I=0 y D=0

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que la respuesta resultante se amortiguaba, se incrementó la acción proporcional. Hasta obtener una oscilación mantenida de la medición como se muestra en la figura 3.8.

Figura 3.8 Respuesta con ciclaje continuo para obtener la ganancia y el periodo últimos

Fuente: Elaboración Propia

- c) Se registra y mide el valor de ganancia con que se produce la oscilación sostenida como ganancia última, K_u y el período de oscilación como período último, T_u .

En base a la respuesta observada en la figura 3.8 se determinó que:

$$K_u = 130$$

$$T_u = 20$$

2. Cálculo de los parámetros de ajuste del controlador con los cuales se producen respuestas de asentamiento de un cuarto.

En base a las siguientes fórmulas se determinaron las ganancias (Smith & Corripio, 2004)

$$K_p = 0.75K_u = 97.5 \quad (3.4)$$

$$K_I = \frac{T_u}{1.6} = 12.5 \quad (3.5)$$

$$K_D = \frac{T_u}{10} = 2 \quad (3.6)$$

4. Diseño y programación del simulador

4.1 Diseño del simulador

Mayor es el potencial de ahorro y efectividad que se logrará en un proyecto de automatización u optimización de procesos utilizando la simulación de sistemas. Esto se debe a que en un proyecto de automatización y control, un porcentaje significativo de los costos del sistema de control están comprometidos en la fase de diseño.

La simulación de sistemas se ha convertido en una herramienta poderosa para la toma de decisiones que permite, entre otras cosas:

- Predecir el resultado de las acciones que se tomen sobre el proceso o sistema de control.
- Comprender por qué los eventos ocurren.
- Identificar áreas problemáticas antes de la implantación del sistema.
- Explorar los efectos de las modificaciones.
- Evaluar ideas y su viabilidad, e identificar sus ineficiencias.
- Estimular el pensamiento creativo y entrenar al personal.
- Optimizar los procesos (ahorros de energía, cuellos de botella, mejoras de los rendimientos, etc.) (National Instruments).

Para poder simular un sistema de control, se debe contar con un “modelo” matemático de la planta o proceso que se quiere controlar, en un modelo matemático, las entidades del sistema y sus atributos se representan mediante variables matemáticas. Las actividades se describen mediante funciones matemáticas que interrelacionan las variables.

En base a la función de transferencia obtenida en la caracterización del proceso (ecuación 2-5), se diseña el simulador.

$$G(s) = \frac{13.21e^{-8.5s}}{319.5s + 1}$$

Considerando los diagramas a bloques de las figuras 2.6 y 2.7, $G(s) = \frac{C(s)}{M(s)}$, y por lo tanto

$$13.21e^{-8.5s} M(s) = C(s)(319.5s + 1)$$

$$13.21e^{-8.5s} M(s) = 319.5sC(s) + C(s)$$

Aplicando la transformada inversa de Laplace y los teoremas de diferenciación real,

$$L\left[\frac{d}{dt} f(t)\right] = sF(s) - f(0), \text{ y traslación real, } F(s) = e^{-st_0} F_1(s) = L[f_1(t - t_0)].$$

$$13.21m(t - 8.5) = 319.5\dot{c}(t) + c(t)$$

$$\dot{c}(t) = \frac{13.21m(t - 8.5) - c(t)}{319.5}$$

$$\frac{c(t) - c_{ant}}{dt} = 0.0413m(t - 8.5) - 0.003c(t)$$

Donde

$c(t)$ = el valor de $c(t)$ actual.

c_{ant} = el valor de $c(t)$ anterior.

Y despejando $c(t)$

$$c(t) = [0.0413m(t - 8.5) - 0.003c(t)]dt + c_{ant}$$

$$0.003c(t)dt + c(t) = 0.0413m(t - 8.5)dt + c_{ant} \tag{4.1}$$

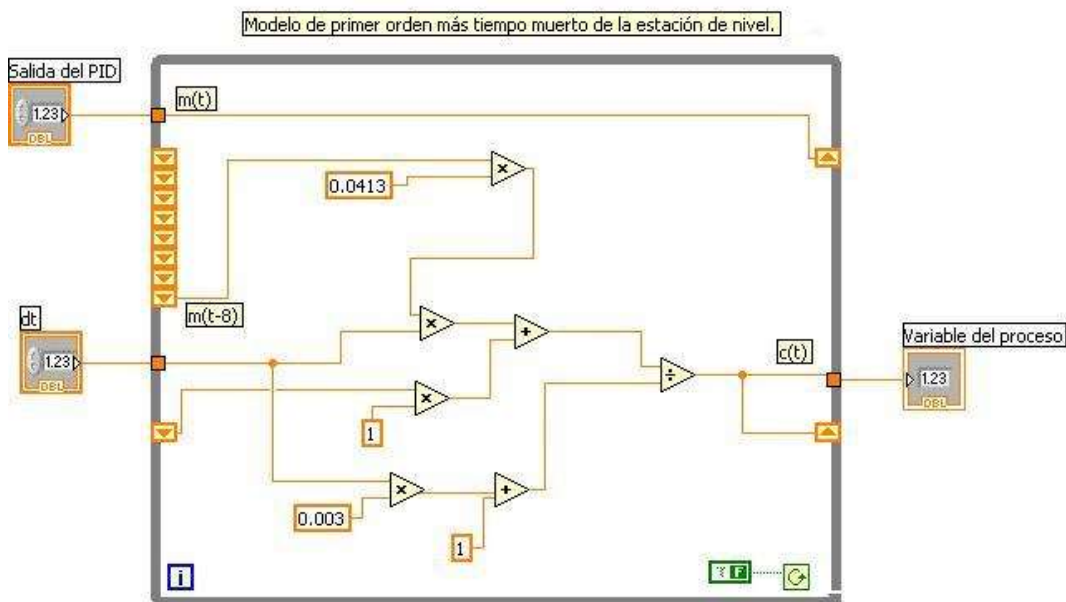
$$c(t) = \frac{0.0413m(t - 8.5)dt + c_{ant}}{[0.003dt + 1]}$$

La ecuación 4-1 representa a la planta y en base a ella se elabora el programa para el simulador.

4.2 Programación del simulador

En la figura 4.1 se muestra el programa de la planta.

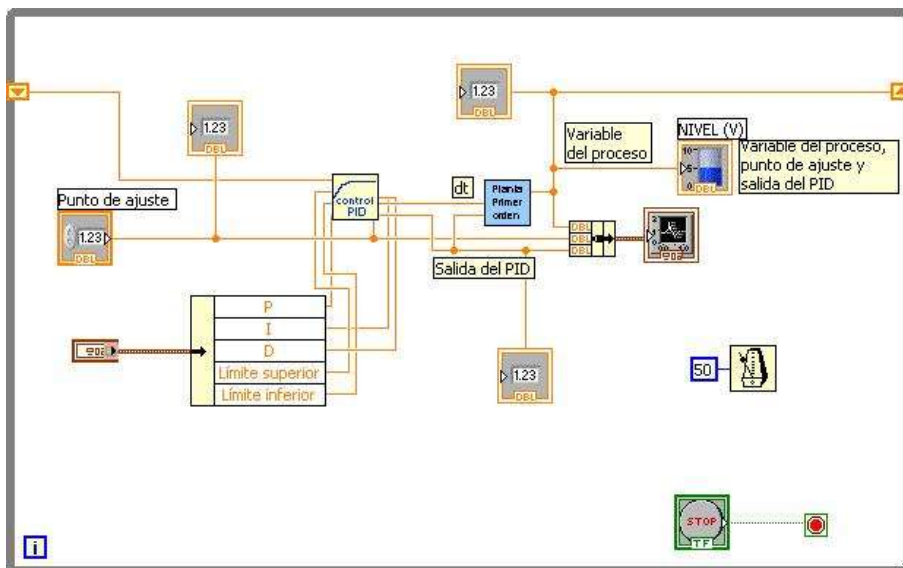
Figura 4.1 Diagrama a bloques elaborado en LabVIEW para el modelo de primero orden más tiempo muerto de la estación de nivel



Fuente: Elaboración Propia

La planta se inserta en el programa principal del simulador como un subinstrumento, figura 4.2.

Figura 4.2 Diagrama a bloques elaborado en LabVIEW para el simulador



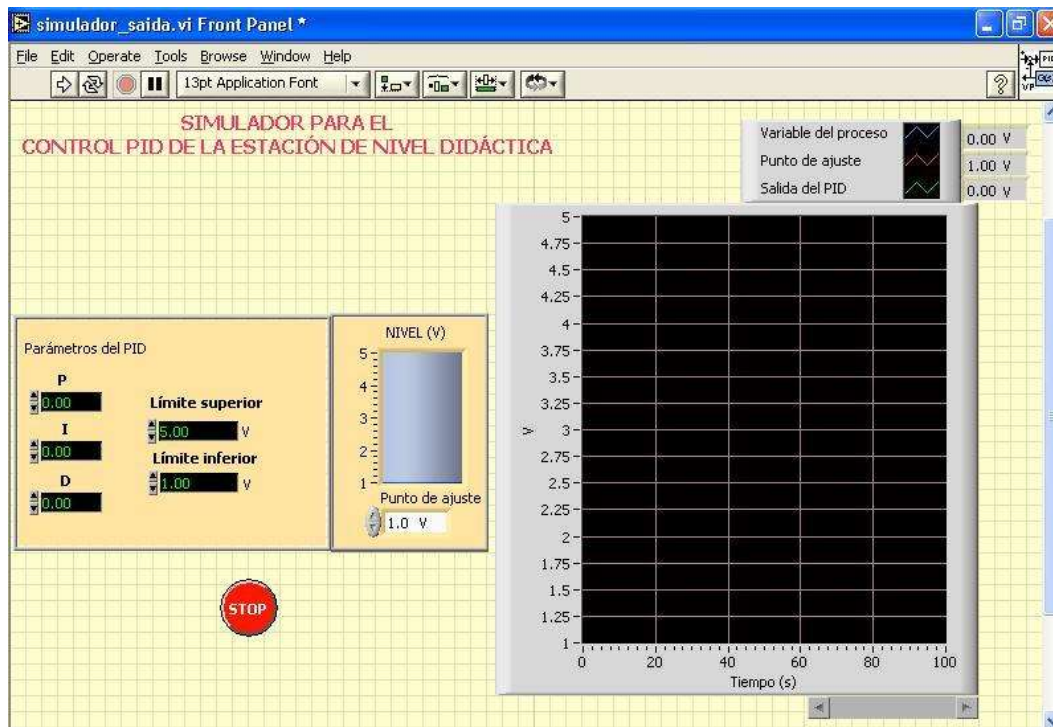
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.2 se observa también al subinstrumento control PID, para de esta manera formar el lazo de control.

4.3. Panel frontal del simulador

En la figura 4.3 se observa el panel frontal del simulador, donde se pueden observar las gráficas de la variable del proceso, punto de ajuste y salida del PID; tiene la opción de variar los parámetros del PID y de fijar un punto de ajuste.

Figura 4.3 Panel frontal del simulador



Fuente: Elaboración Propia

En un sistema de control de lazo cerrado, la variable de salida es continuamente medida y comparada con un valor deseado (Set Point). Si existe una diferencia entre estas dos variables (error e), se aplican ajustes hasta que la diferencia cuantificada es eliminada o disminuida y la variable controlada iguala o se acerca a la variable de referencia.

5. Prácticas

5.1 Práctica:

Control de la variable nivel en la estación de trabajo didáctica utilizando el controlador comercial Hanyoung PX9

Nombre:

Semestre:

Grupo:

Profesor:

Fecha:

I. Objetivo:

Controlar la variable nivel experimentado con un controlador comercial y un sensor ultrasónico utilizados en la industria; y crear un registrador en LabVIEW para el análisis de la evolución de las variables en tiempo real.

II. Introducción:

Dentro de las materias básicas de control se ha estudiado principalmente la teoría del control, las acciones básicas de control y los controles PID. En esta práctica se experimentará con el control de la variable nivel en tiempo real, mediante el uso de un controlador Hanyoung PX9 y un sensor ultrasónico Banner Q45ULIU64ACR. Para el análisis de la variable del proceso y la salida del control se hará uso del software de programación gráfica LabVIEW.

III. Marco teórico:

Como lo muestra la figura 5.1, un controlador obtiene a través de un dispositivo de medición el valor real de la salida de un proceso y la compara con el punto de ajuste, para determinar la desviación y producir una señal de control enviada al actuador que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño.

Figura 5.1 Diagrama a bloques de un lazo cerrado de control



Fuente: Elaboración Propia

Un controlador proporcional tiene el efecto de reducir el tiempo de subida, pero nunca elimina el error de estado estable. Un controlador integral tiene el efecto de eliminar el error de estado estable, pero puede empeorar la respuesta transitoria. Un controlador derivativo tiene el efecto de aumentar la estabilidad del sistema, reduciendo el sobreimpulso y mejorando la respuesta transitoria. Los efectos de cada uno de estos controladores se resumen en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Efectos de las acciones proporcional, integral y derivativa

Controlador	Tiempo de subida	Sobreimpulso	Tiempo de establecimiento	Error en estado estable
P	Disminución	Aumento	Cambio pequeño	Disminución
I	Disminución	Aumento	Aumento	Eliminación
D	Cambio pequeño	Disminución	Disminución	Cambio pequeño

Fuente: (Åström & Hagglund, 2010)

Entre los controladores que se utilizan en la industria se encuentra el controlador marca Hanyoung PX9, el cual presenta las siguientes características:

- Lógica difusa.
- Auto sintonía.
- Salida de alarmas.
- Salida de retransmisión.
- Multi entrada-salida.
- Entrada de contacto externo.
- Zona PID.
- Grupo PID.
- Límites de salida.

El dispositivo de medición involucrado en el lazo de control, puede ser un sensor ultrasónico quien emite un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración, el cual se propaga a la velocidad del sonido por el aire y al encontrar un objeto, es reflejado y regresa un eco al sensor ultrasónico. Éste calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo del recorrido del sonido.

IV. Material y equipo:

Estación de trabajo didáctica para la variable nivel.

Cables para interconectar los dispositivos de la estación didáctica.

Computadora.

Tarjeta de adquisición de datos NI PCI 6014.

BI2 = conector CB-68LP.

V. Desarrollo:

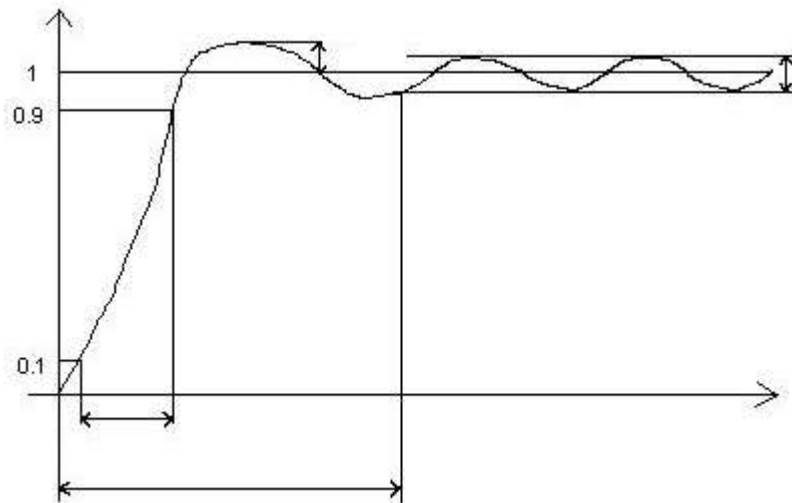
A continuación, se presenta una serie de procedimientos que se han de completar para la correcta realización de la práctica.

V.1 Estudio previo.

Antes de realizar la práctica se contestarán las siguientes cuestiones.

a) En la siguiente gráfica identificar cada uno de los siguientes parámetros:

- 1) Tiempo de subida.
- 2) Sobreimpulso.
- 3) Tiempo de establecimiento.
- 4) Error en estado estable.

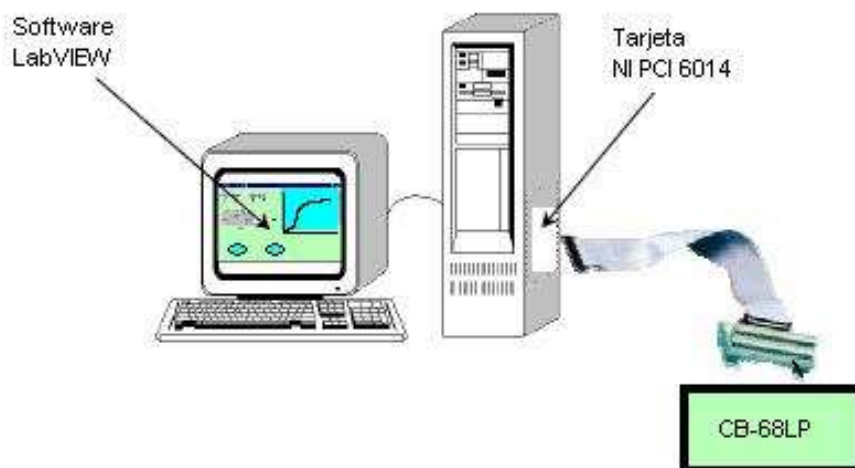
Figura 5.2 Respuesta transitoria

Fuente: Elaboración Propia

- b) ¿Qué efecto tiene la acción proporcional en el tiempo de subida?
- c) ¿Qué efecto tiene la acción derivativa en el tiempo de establecimiento?
- d) ¿Qué efecto tiene la acción integral en el sobreimpulso?
- e) ¿Cómo funciona un sensor ultrasónico?

V.2 Registrador en LabVIEW.

- a) Verificar que se cuente con el software LabVIEW, la tarjeta NI PCI 6014 y el bloque conector CB-68LP, como lo muestra la figura 5.3.

Figura 5.3 Circuito de conexión a la computadora

Fuente: Elaboración Propia

b) Desarrollar en LabVIEW un registrador para dos entradas analógicas, una para la variable del proceso y otra para la salida del controlador.

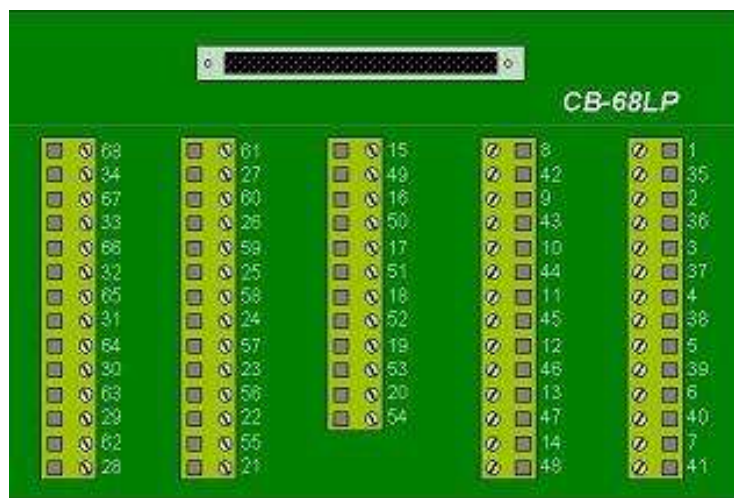
Configurar el canal ai1 para la variable del proceso y el ai2 para la salida del controlador.

Adjuntar el diagrama a bloques e interfaz de usuario del programa desarrollado en LabVIEW.

V.3 Verificación del sensor

a) Realizar la conexión de la estación didáctica con la computadora mediante el bloque conector CB-68LP mostrado en la figura 5.4.

Figura 5.4 CB-68LP



Fuente: National Instruments

Basarse en el conector mostrado en la figura 5.5, para Identificar las terminales correspondientes a cada una de las entradas analógicas configuradas.

Figura 5.5 Conector I/O para dispositivos DAQ multifunciones básicos



Fuente: National Instruments

b) Utilizar el programa realizado en el punto V.2, para observar la salida del sensor.

Medir el nivel proporcionado por el sensor: $V_{\text{sensor}} =$

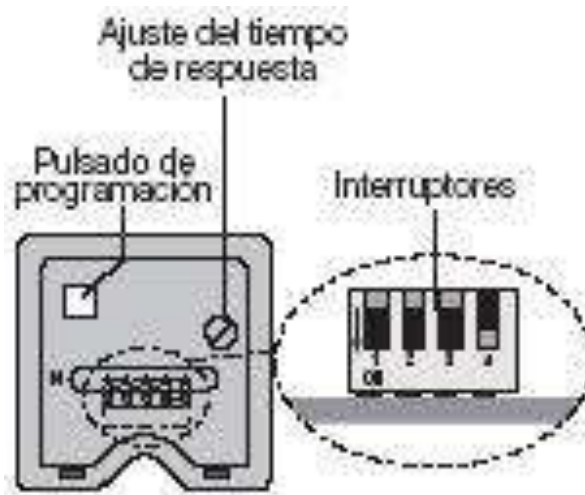
¿Los niveles marcados en la estación didáctica coinciden con el resultado obtenido en el programa?

En caso de que no coincidan, realizar la configuración del sensor mediante el siguiente procedimiento:

c) Los switches del sensor, mostrados en la figura 5.6 deben quedar de la siguiente manera:

- Switch 1: Off
- Switch 2: On
- Switch 3: On
- Switch 4: Off

Figura 5.6 Switches de programación para el sensor ultrasónico Banner Q45ULIU64ACR



Fuente: (Banner)

Presionar y mantener por dos segundos o más el botón de programación mostrado en la figura 5.6, hasta que el indicador verde se apague.

Situar el nivel 0% en la estación de nivel y presionar el botón de programación por menos de dos segundos.

Situar el nivel de 100% en la estación de nivel y presionar el botón de programación por menos de dos segundos. Y de esta manera queda configurado el sensor.

Utilizar el programa realizado en el punto V.2, para observar la salida del sensor.

Medir el nivel proporcionado por el sensor: $V_{\text{sensor}} =$

¿Los niveles marcados en la estación didáctica coinciden con el resultado obtenido en el programa?

V.4 Sintonía del controlador

a) Para sintonizar el controlador se utiliza la función de autosintonía que presenta, esta función automáticamente mide, calcula y ajusta el PID óptimo.

Para iniciar el proceso de autosintonía, se pone en funcionamiento la estación didáctica y se presiona por tres segundos el botón set hasta mostrar dI SP en el indicador PV y posteriormente volver a presionar el botón set hasta situarse en el grupo de autosintonía (G.At), la función inicio de autosintonía (At) se cambia a “auto”.

b) Después de realizarse la autosintonía, seleccionar el grupo PID (G.Pid) en el controlador, y anotar los parámetros obtenidos del PID.

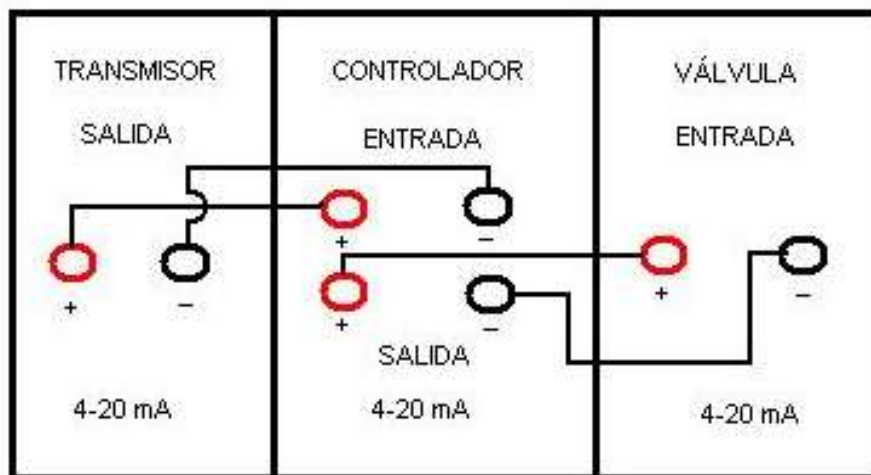
Banda proporcional (P) = n.P =

Tiempo integral (I) = n.I =

Tiempo derivativo (D) = n.d =

c) Estando el tablero de conexiones de la estación de trabajo didáctica conectado, como lo muestra la figura 5.7.

Figura 5.7 Tablero de conexiones de la estación didáctica



Fuente: Elaboración Propia

Y la estación didáctica conectada a la computadora como lo indica el inciso a del punto V.3. Para observar la variable del proceso y la salida del controlador.

Fijar un set point del 30%, correr el programa e incluir las gráficas obtenidas.

d) En base a la gráfica obtenida determinar los parámetros de la respuesta transitoria.

Tiempo de subida =

Sobreimpulso =

Tiempo de establecimiento =

Error en estado estable =

e) Acceder al grupo PID (G.Pid) en el controlador, y ajustar los parámetros del PID en base a los resultados anteriores, anotar los nuevos parámetros.

Banda proporcional (P) = $n.P =$	
Tiempo integral (I) = $n.I =$	
Tiempo derivativo (D) = $n.d =$	

Graficar nuevamente con el set point de 30% e incluir las gráficas.

f) En base a la grafica obtenida determinar los parámetros de la respuesta transitoria.

Tiempo de subida =	
Sobreimpulso =	
Tiempo de establecimiento =	
Error en estado estable =	

¿Se mejoró la respuesta transitoria?

VI. Observación y conclusiones

5.2 Práctica:

Control PID virtual para la variable nivel de la estación de trabajo didáctica

Nombre:

Semestre:

Grupo:

Profesor:

Fecha:

I. Objetivo:

Controlar la variable nivel experimentado con un controlador virtual.

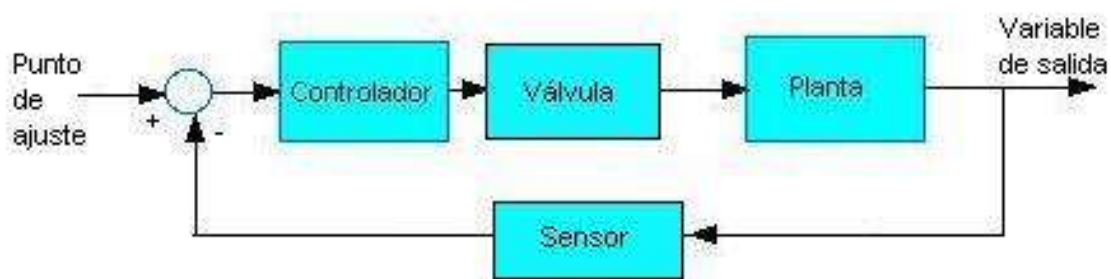
II. Introducción:

Dentro de las materias básicas de control se ha estudiado principalmente la teoría del control, las acciones básicas de control y los controles PID. En esta práctica se experimentará con el control de la variable nivel en tiempo real, mediante el uso de un controlador PID virtual implementado en el software gráfico de programación LabVIEW, enfocado hacia la instrumentación virtual. Utilizando para predecir la respuesta un simulador y para la sintonización el método de Ziegler-Nichols.

III. Marco teórico:

La estación de trabajo didáctica funciona como lo muestra la (ura 5.8, el controlador obtiene a través de un sensor el valor real de la salida de un proceso y la compara con el punto de ajuste, para determinar la desviación y producir una señal de control enviada a la válvula que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño.

Figura 5.8 Lazo cerrado de control



Fuente: Elaboración Propia

Un controlador proporcional tiene el efecto de reducir el tiempo de subida, pero nunca elimina el error de estado estable. Un controlador integral tiene el efecto de eliminar el error de estado estable, pero puede empeorar la respuesta transitoria. Un controlador derivativo tiene el efecto de aumentar la estabilidad del sistema, reduciendo el sobreimpulso y mejorando la respuesta transitoria. Los efectos de cada uno de estos controladores se resumen en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Efectos de las acciones PID en la respuesta transitoria.

Controlador	Tiempo de subida	Sobreimpulso	Tiempo de establecimiento	Error en estado estable
P	Disminución	Aumento	Cambio pequeño	Disminución
I	Disminución	Aumento	Aumento	Eliminación
D	Cambio pequeño	Disminución	Disminución	Cambio pequeño

Fuente: (Åström & Hagglund)

Un método popular para sintonizar controladores es el método Ziegler-Nichols. Este método comienza con las ganancias integral y diferencial a cero y entonces incrementa la ganancia proporcional hasta que el sistema es inestable. El valor de K_p en el punto de inestabilidad es llamada ganancia última, K_u ; y el período de la oscilación, período último, T_u .

Y a partir de estos datos se calculan las ganancias proporcional, derivativa e integral.

$$K_p = 0.75K_u \quad (5.1)$$

$$K_I = \frac{T_u}{1.6} \quad (5.2)$$

$$K_D = \frac{T_u}{10} \quad (5.3)$$

El dispositivo de medición involucrado en el lazo de control de la figura 5.8, es un sensor ultrasónico quien emite un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración, el cual se propaga a la velocidad del sonido por el aire y al encontrar un objeto, es reflejado y regresa un eco al sensor ultrasónico. Éste calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo del recorrido del sonido.

IV. Material y equipo:

Estación de trabajo didáctica para la variable nivel.

Cables para interconectar los dispositivos de la estación didáctica.

Computadora.

Tarjeta de adquisición de datos NI PCI 6014.

Bloque conector CB-68LP.

V. Desarrollo:

A continuación, se presenta una serie de procedimientos que se han de completar para la correcta realización de la práctica.

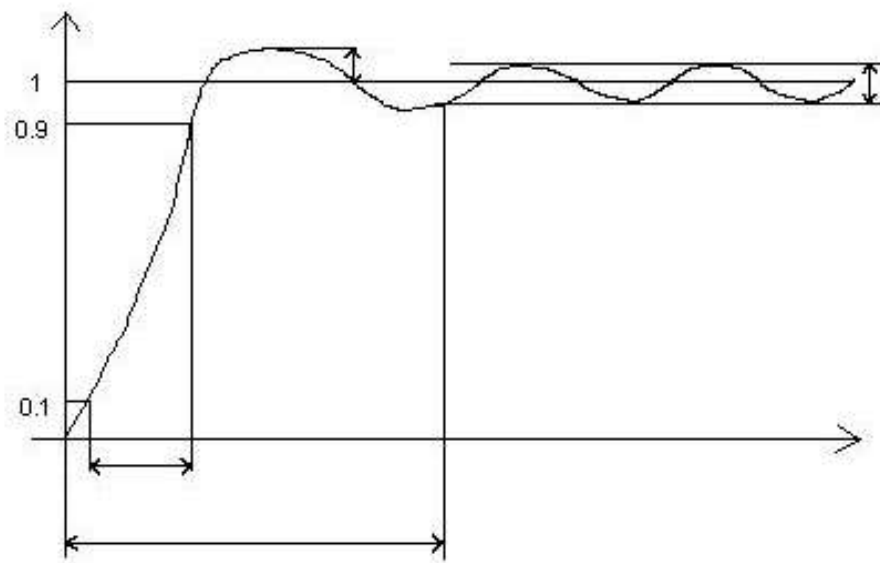
V.1 Estudio previo.

Antes de realizar la práctica se contestarán las siguientes cuestiones.

a) En la siguiente gráfica identificar cada uno de los siguientes parámetros:

- 1) Tiempo de subida.
- 2) Sobreimpulso.
- 3) Tiempo de establecimiento.
- 4) Error en estado estable.

Figura 5.9 Respuesta transitoria de un sistema



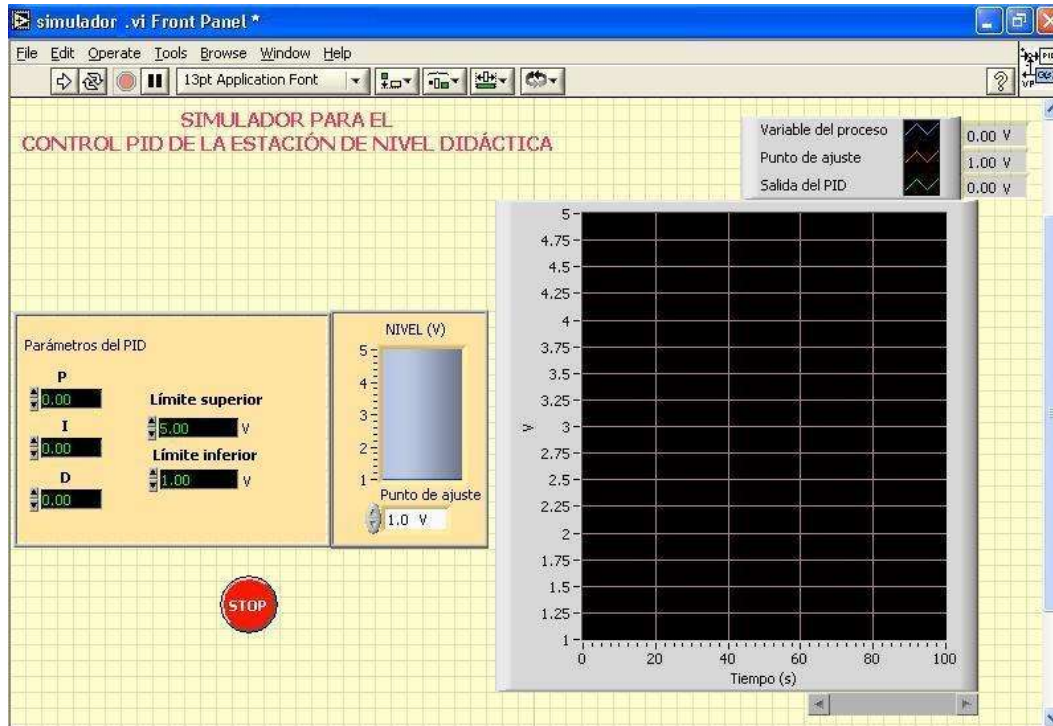
Fuente: Elaboración Propia

- b) ¿Qué efecto tiene la acción proporcional en el sobreimpulso?
- c) ¿Qué efecto tiene la acción derivativa en el sobreimpulso?
- d) ¿Qué efecto tiene la acción integral en el tiempo de establecimiento?
- e) Describir el proceso de sintonización de Ziegler-Nichols.

V.2 Simulador en LabVIEW

a) Abrir el programa realizado en LabVIEW, que lleva por nombre simulador.vi, mostrado en la figura 5.10, y en base al método de sintonización de Ziegler-Nichols, determinar las ganancias del controlador PID.

Figura 5.10 simulador.vi



Fuente: Elaboración Propia

$$K_p =$$

$$K_I =$$

$$K_D =$$

b) Con los parámetros anteriores para el PID, fijar un punto de ajuste de 30% y observar la respuesta.

¿Es necesario hacer un ajuste a los parámetros?

Escribir las nuevas ganancias determinadas.

$$K_p =$$

$$K_I =$$

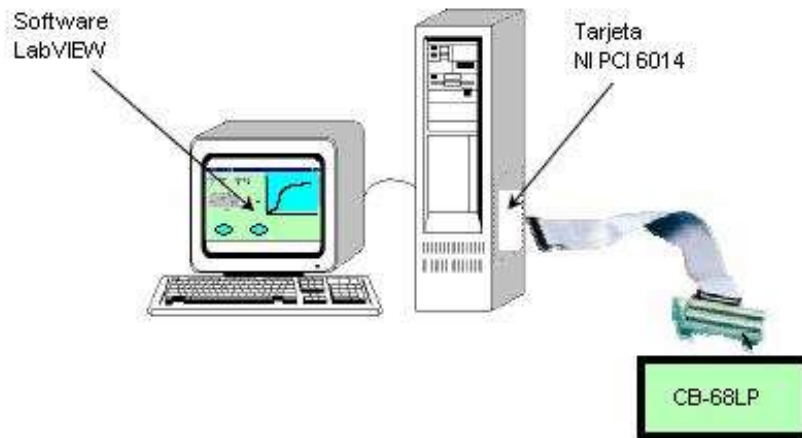
$$K_D =$$

Anexar la gráfica de la respuesta obtenida en el simulador.

V.3 Controlador PID virtual

- a) Verificar que se cuente con la tarjeta NI PCI 6014 y el bloque conector CB-68LP, como lo muestra la figura 5.11.

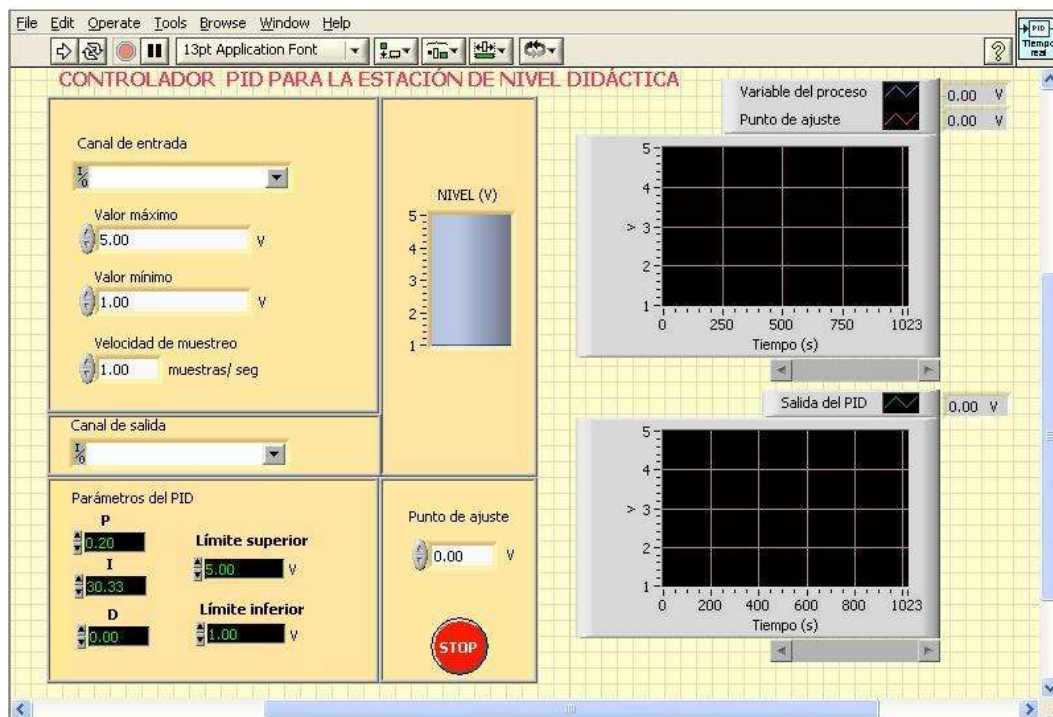
Figura 5.11 Equipo y dispositivos para el control en tiempo real



Fuente: Elaboración Propia

- b) Abrir el programa control pid.vi, mostrado en la figura 5.12, configurar el canal ai4 como canal de entrada de voltaje y el canal ai5 como canal de salida de voltaje.

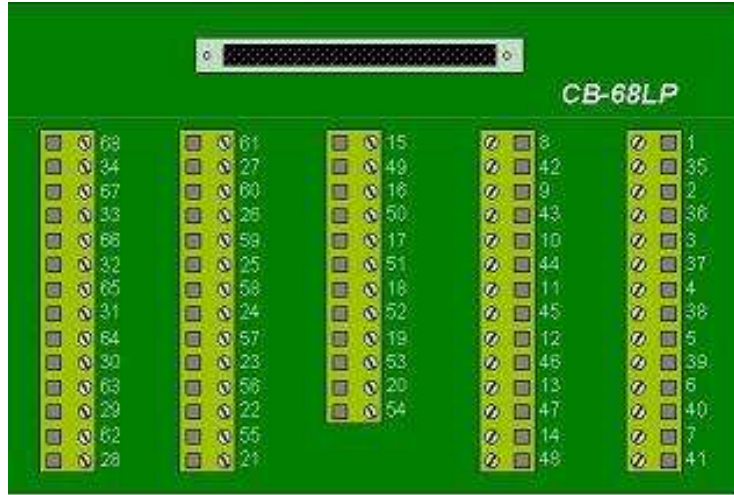
Figura 5.12 control pid.vi



Fuente: Elaboración Propia

Realizar la conexión de la estación didáctica con la computadora mediante el bloque conector CB-68LP mostrado en la figura 5.13.

Figura 5.13 Bloque de terminales CB-68LP



Fuente: (National Instruments)

Conectar una resistencia en paralelo de 250Ω para la terminal asignada como canal de entrada, y conectar una resistencia en serie de 250Ω para la terminal asignada como canal de salida.

Basarse en el conector mostrado en la figura 5.14, para Identificar las terminales correspondientes a la salida y entrada analógicas configuradas.

Figura 5.14 Conector I/O

AI 8	34	68	AI 0
AI 1	33	67	AI GND
AI GND	32	66	AI 9
AI 10	31	65	AI 2
AI 3	30	64	AI GND
AI GND	29	63	AI 11
AI 4	28	62	AI SENSE
AI GND	27	61	AI 12
AI 13	26	60	AI 5
AI 6	25	59	AI GND
AI GND	24	58	AI 14
AI 15	23	57	AI 7
AO 0	22	56	AI GND
AO 1	21	55	AO GND
NC	20	54	AO GND
P0.4	19	53	D GND
D GND	18	52	P0.0
P0.1	17	51	P0.5
P0.6	16	50	D GND
D GND	15	49	P0.2
+5 V	14	48	P0.7
D GND	13	47	P0.3
D GND	12	46	AI HOLD COMP
PFI 0/AI START TRIG	11	45	EXT STROBE
PFI 1/AI REF TRIG	10	44	D GND
D GND	9	43	PFI 2/AI CONV CLK
+5 V	8	42	PFI 3/CTR 1 SRC
D GND	7	41	PFI 4/CTR 1 GATE
PFI 5/AO SAMP CLK	6	40	CTR 1 OUT
PFI 6/AO START TRIG	5	39	D GND
D GND	4	38	PFI 7/AI SAMP CLK
PFI 8/CTR 0 GATE	3	37	PFI 8/CTR 0 SRC
CTR 0 OUT	2	36	D GND
FREQ OUT	1	35	D GND

NC = No Connect

NI 6014 Pinout

Fuente: (National Instruments)

d) En base al método de sintonización de Ziegler-Nichols, determinar las ganancias del controlador PID.

$$K_p =$$

$$K_I =$$

$$K_D =$$

e) Con los parámetros anteriores para el PID, fijar un punto de ajuste de 30% y observar la respuesta.

¿Es necesario hacer un ajuste a los parámetros?

Escribir las nuevas ganancias determinadas.

$$K_p =$$

$$K_I =$$

$$K_D =$$

Anexar la gráfica de la respuesta obtenida.

f) ¿El simulador proporcionó la respuesta esperada en el sistema real?

g) ¿El simulador podría servir como punto de partida en el diseño del controlador?

VI. Observación y conclusiones

5.3 Práctica:

Control de la variable nivel en la estación de trabajo didáctica utilizando un controlador analógico

Nombre:

Semestre:

Grupo:

Profesor:

Fecha:

I. Objetivo:

Controlar la variable nivel diseñando un controlador analógico implementado con amplificadores operacionales.

II. Introducción:

Entre las operaciones que realizan los amplificadores operacionales se encuentran las de multiplicación, integración y derivación, por lo que con ellos se puede crear un controlador analógico PID, para el control de la variable nivel en tiempo real en la estación de trabajo didáctica. Para el análisis de la variable del proceso, el punto de ajuste y la salida del control se hará uso del software de programación gráfica LabVIEW.

III. Marco teórico:

Como lo muestra la figura 5.15, un controlador obtiene a través de un dispositivo de medición el valor real de la salida de un proceso y la compara con el punto de ajuste, para determinar la desviación y producir una señal de control enviada al actuador que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño.

Figura 5.15 Control en lazo cerrado



Fuente: Elaboración Propia

Un controlador proporcional tiene el efecto de reducir el tiempo de subida, pero nunca elimina el error de estado estable. Un controlador integral tiene el efecto de eliminar el error de estado estable, pero puede empeorar la respuesta transitoria. Un controlador derivativo tiene el efecto de aumentar la estabilidad del sistema, reduciendo el sobreimpulso y mejorando la respuesta transitoria. Los efectos de cada uno de estos controladores se resumen en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Acciones PID en la respuesta transitoria

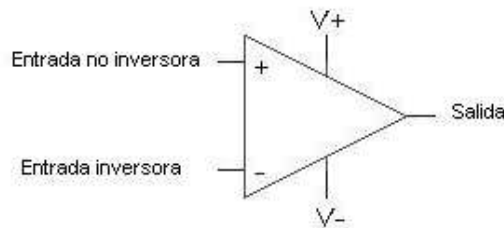
Controlador	Tiempo de subida	Sobreimpulso	Tiempo de establecimiento	Error en estado estable
P	Disminución	Aumento	Cambio pequeño	Disminución
I	Disminución	Aumento	Aumento	Eliminación
D	Cambio pequeño	Disminución	Disminución	Cambio pequeño

Fuente: (Åström & Hagglund)

Un amplificador operacional es un amplificador diferencial con una ganancia muy alta, con una elevada impedancia de entrada y una impedancia de salida baja.

Los usos más típicos del amplificador operacional son proporcionar cambios de amplitud de voltaje, osciladores, circuitos de filtros y muchos otros tipos de circuitos de instrumentación.

El símbolo del amplificador operacional se muestra en la figura 5.16. Y se puede encontrar en un circuito integrado 741 o 351.

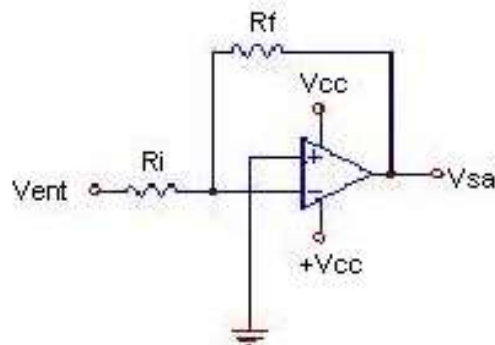
Figura 5.16 Símbolo del amplificador operacional

Fuente: Elaboración Propia

Dependiendo de las conexiones realizadas en él, se puede configurar para funcionar como un seguidor de voltaje, un amplificador inversor, un amplificador no inversor, un sumador, un diferenciador, un integrador, y una serie de modalidades más que sirven para diseñar e implementar circuitos electrónicos.

Amplificador inversor:

La configuración más sencilla es la inversora, la cual se muestra en la figura 5.17. Dada una señal analógica el amplificador inversor amplifica o atenúa la señal cambiando su polaridad.

Figura 5.17 Amplificador inversor

Fuente: Elaboración Propia

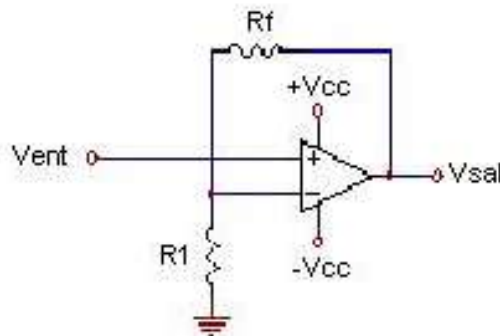
Donde la ganancia queda determinada como:

$$\frac{V_{out}}{V_{ent}} = \frac{-R_f}{R_i} \quad (5.4)$$

Amplificador no inversor

Este circuito presenta como característica más destacable su capacidad para mantener la fase de la señal y se presenta en la figura 5.18.

Figura 5.18 Amplificador no inversor



Fuente: Elaboración Propia

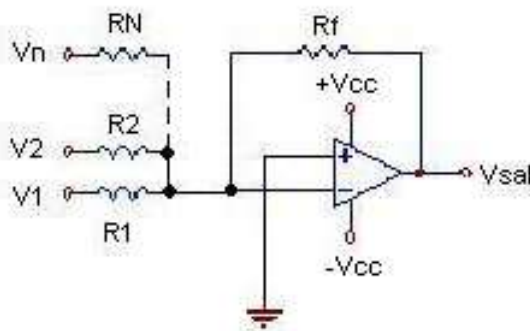
La ganancia queda determinada de la siguiente manera:

$$\frac{V_{sal}}{V_{ent}} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (5.5)$$

Amplificador mezclador o sumador

Esencialmente no es más que un amplificador inversor con varias entradas. El circuito se muestra en la figura 5.19.

Figura 5.19 Sumador inversor



Fuente: Elaboración Propia

El voltaje de salida queda determinado como:

$$V_{sal} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_N}{R_N} \right) \quad (5.6)$$

Si

$$R_1 = R_2 = \dots = R_N = R_f$$

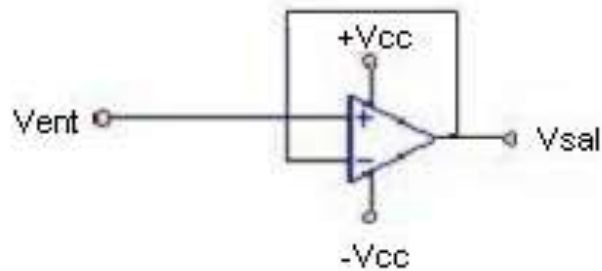
entonces

$$V_{sal} = -(V_1 + V_2 + \dots + V_N) \quad (5.7)$$

Circuito seguidor

Esta sencilla configuración ofrece una tensión de salida igual a la tensión de entrada, no produciéndose ganancia alguna. El seguidor de voltaje se muestra en la figura 5.20.

Figura 5.20 Seguidor de voltaje



Fuente: Elaboración Propia

Donde

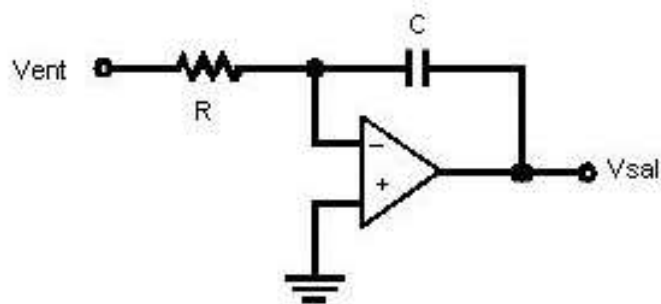
$$V_{sal} = V_{ent} \quad (5.8)$$

Su nombre está dado por el hecho de que la señal de salida es igual a la de entrada, es decir, sigue a la de entrada.

El Integrador

Si se conecta un capacitor en el circuito de realimentación, el circuito se clasifica como un integrador, en la figura 5.21 se muestra.

Figura 5.21 Circuito integrador basado en amplificador operacional



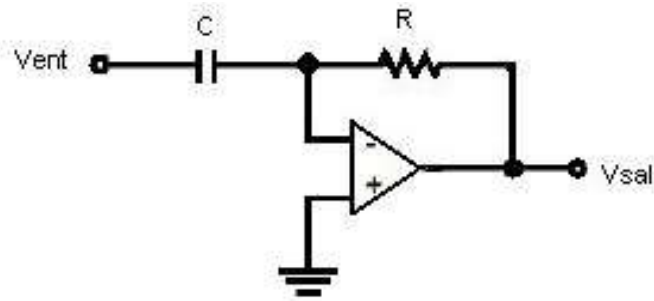
Fuente: Elaboración Propia

Donde

$$V_{sal} = \frac{-V_{ent} \ t}{RC} \quad (5.9)$$

El diferenciador

El circuito se muestra en la figura 5.22, la posición de R y C están al revés que en el integrador, estando el elemento capacitivo en la entrada.

Figura 5.22 Circuito diferenciador basado en amplificador operacional

Fuente: Elaboración Propia

El voltaje de salida queda definido como:

$$V_{sal} = \frac{V_{ent} R C}{t} \quad (5.10)$$

El dispositivo de medición involucrado en el lazo de control, mostrado en la figura 5.15, puede ser un sensor ultrasónico quien emite un impulso acústico de alta frecuencia y corta duración, el cual se propaga a la velocidad del sonido por el aire y al encontrar un objeto, es reflejado y regresa un eco al sensor ultrasónico. Éste calcula internamente la distancia hacia el objeto, basado en el tiempo del recorrido del sonido.

IV. Material y equipo:

Estación de trabajo didáctica para la variable nivel.

Cables para interconectar los dispositivos de la estación didáctica.

Computadora.

Tarjeta de adquisición de datos NI PCI 6014.

Bloque conector CB-68LP.

V. Desarrollo:

A continuación, se presenta una serie de procedimientos que se han de completar para la correcta realización de la práctica.

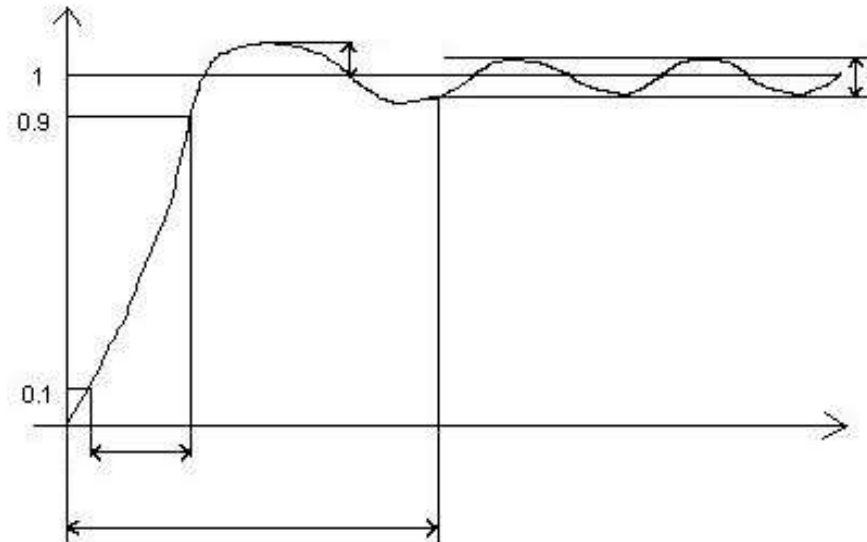
V.1 Estudio previo

Antes de realizar la práctica se contestarán las siguientes cuestiones.

a) En la siguiente gráfica identificar cada uno de los siguientes parámetros:

- 1) Tiempo de subida.
- 2) Sobreimpulso.
- 3) Tiempo de establecimiento.
- 4) Error en estado estable.

Figura 5.23 Parámetros de la respuesta transitoria



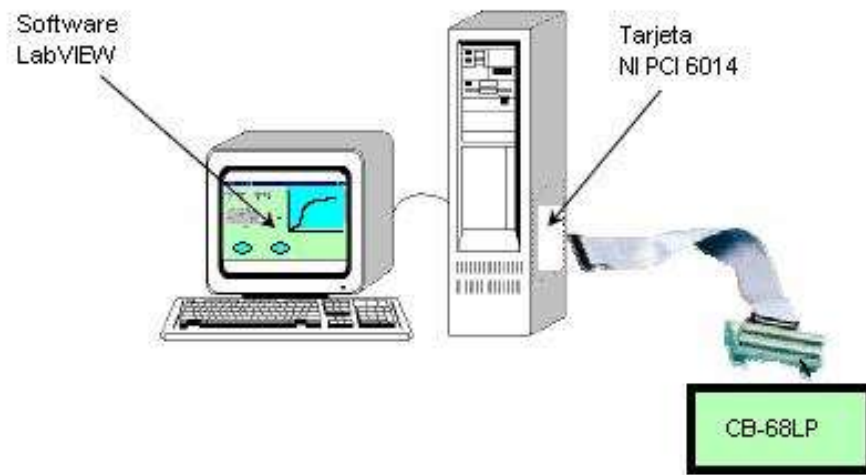
Fuente: Elaboración Propia

- b) ¿Qué efecto tiene la acción proporcional en el sobreimpulso?
- c) ¿Qué efecto tiene la acción derivativa en el error en estado estable?
- d) ¿Qué efecto tiene la acción integral en el tiempo de establecimiento?
- e) ¿Cómo queda determinado el voltaje de salida en un amplificador inversor?
- f) Dibujar la configuración de un integrador con amplificador operacional.

V.2 Registrador en LabVIEW.

- a) Verificar que se cuente con el software LabVIEW, la tarjeta NI PCI 6014 y el bloque conector CB-68LP, como lo muestra la figura 5.24.

Figura 5.24 Circuito para el registro de la señal



Fuente: Elaboración Propia

b) Desarrollar en LabVIEW un registrador para tres entradas analógicas, una para la variable del proceso, una para el punto de ajuste y una para la salida del controlador.

Configurar el canal ai1 para la variable del proceso, el ai2 para el punto de ajuste y el ai3 para la salida del controlador. En el programa escalar éstas entradas para observar las gráficas en términos de porcentaje.

Adjuntar el diagrama a bloques e interfaz de usuario del programa desarrollado en LabVIEW.

V.3 Controlador analógico

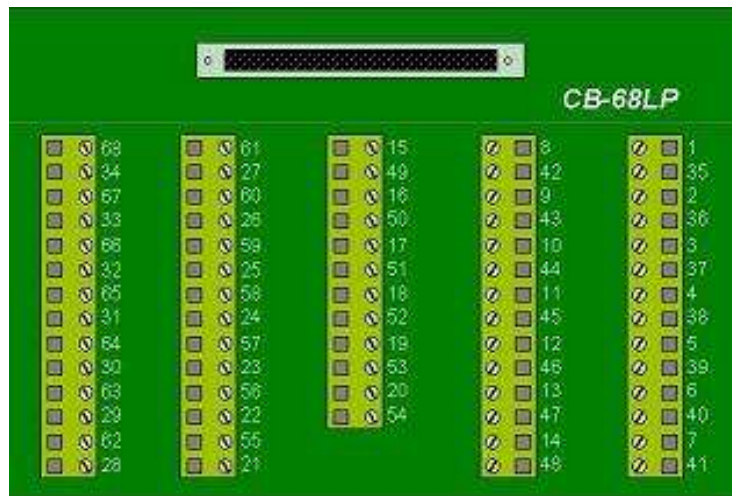
a) Diseñar un controlador PID analógico utilizando amplificadores operacionales.

Anexar el diagrama del diseño.

b) Implementar físicamente el controlador analógico.

c) Realizar la conexión de la estación didáctica con la computadora mediante el bloque conector CB-68LP mostrado en la figura 5.25.

Figura 5.25 Conector CB-68LP



Fuente: (National Instruments)

Conectar una resistencia en paralelo de 250Ω para las terminales asignadas como canales de entrada.

Basarse en el conector mostrado en la figura 5.26, para Identificar las terminales correspondientes a cada una de las entradas analógicas configuradas.

Figura 5.26 Conector I/O para dispositivos DAQ

AI 8	34	68	AI 0
AI 1	33	67	AI GND
AI GND	32	66	AI 9
AI 10	31	65	AI 2
AI 3	30	64	AI GND
AI GND	29	63	AI 11
AI 4	28	62	AI SENSE
AI GND	27	61	AI 12
AI 13	26	60	AI 5
AI 6	25	59	AI GND
AI GND	24	58	AI 14
AI 15	23	57	AI 7
AO 0	22	56	AI GND
AO 1	21	55	AO GND
NC	20	54	AO GND
P0.4	19	53	D GND
D GND	18	52	P0.0
P0.1	17	51	P0.5
P0.8	16	50	D GND
D GND	15	49	P0.2
+5 V	14	48	P0.7
D GND	13	47	P0.3
D GND	12	46	AI HOLD COMP
PFI 0/AI START TRIG	11	45	EXT STROBE
PFI 1/AI REF TRIG	10	44	D GND
D GND	9	43	PFI 2/AI CONV CLK
+5 V	8	42	PFI 3/CTR 1 SRC
D GND	7	41	PFI 4/CTR 1 GATE
PFI 5/AO SAMP CLK	6	40	CTR 1 OUT
PFI 6/AO START TRIG	5	39	D GND
D GND	4	38	PFI 7/AI SAMP CLK
PFI 8/CTR 0 GATE	3	37	PFI 8/CTR 0 SRC
CTR 0 OUT	2	36	D GND
FREQ OUT	1	35	D GND

NC = No Connect

NI 6014 Pinout

Fuente: (National Instruments)

d) Fijar un punto de ajuste del 30% y observar la respuesta obtenida en el registrador.

Anexar la gráfica de la respuesta obtenida.

e) Determinar los parámetros de la respuesta transitoria:

Tiempo de subida =

--

Sobreimpulso =

--

Tiempo de establecimiento =

--

Error en estado estable =

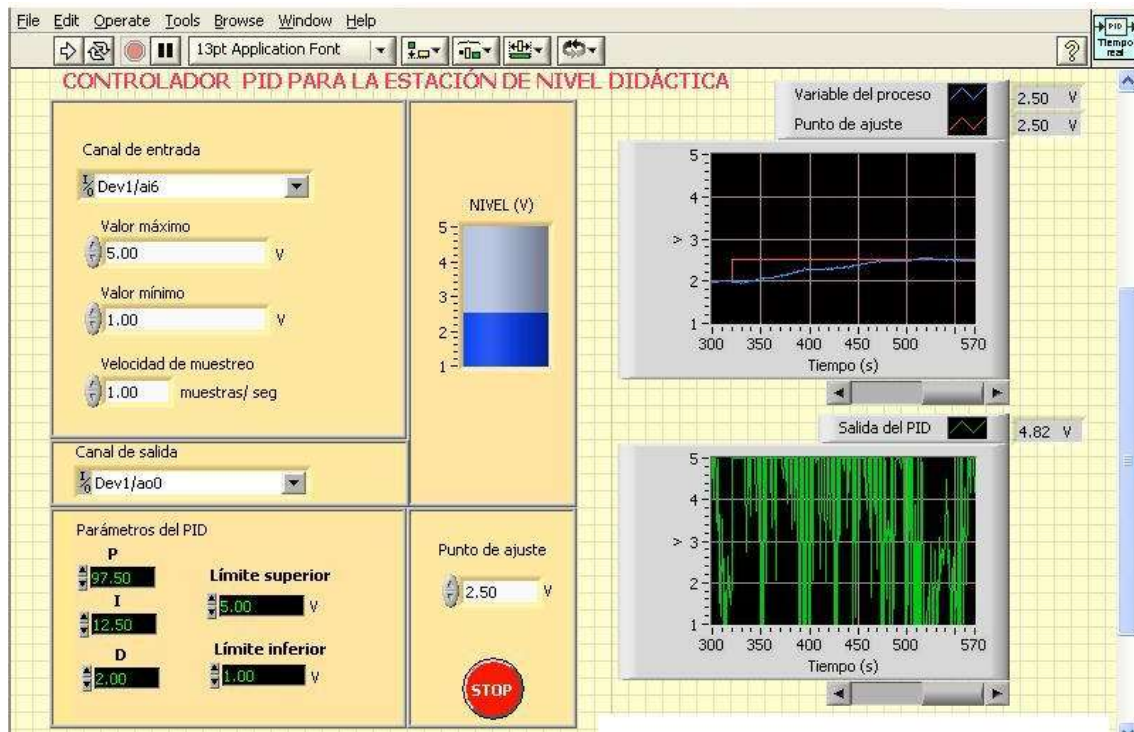
--

VI. Observación y conclusiones

6. Resultados

El controlador PID diseñado e implementado en el capítulo 3, bajo el lenguaje de programación visual LabVIEW, se sintonizó en base al método de Ziegler y Nichols en lazo cerrado, obteniéndose como ganancias $P=97.5$, $I=12.5$ y $D=2$, estas ganancias se establecieron en el programa elaborado y en la figura 6.1 se observa que la salida del PID varía a lo largo de todo su rango de salida, pero que aun así posiciona a la variable de salida en el punto de ajuste fijado (2.5 V).

Figura 6.1 Controlador con $P=97.5$, $I=12.5$ y $D=2$



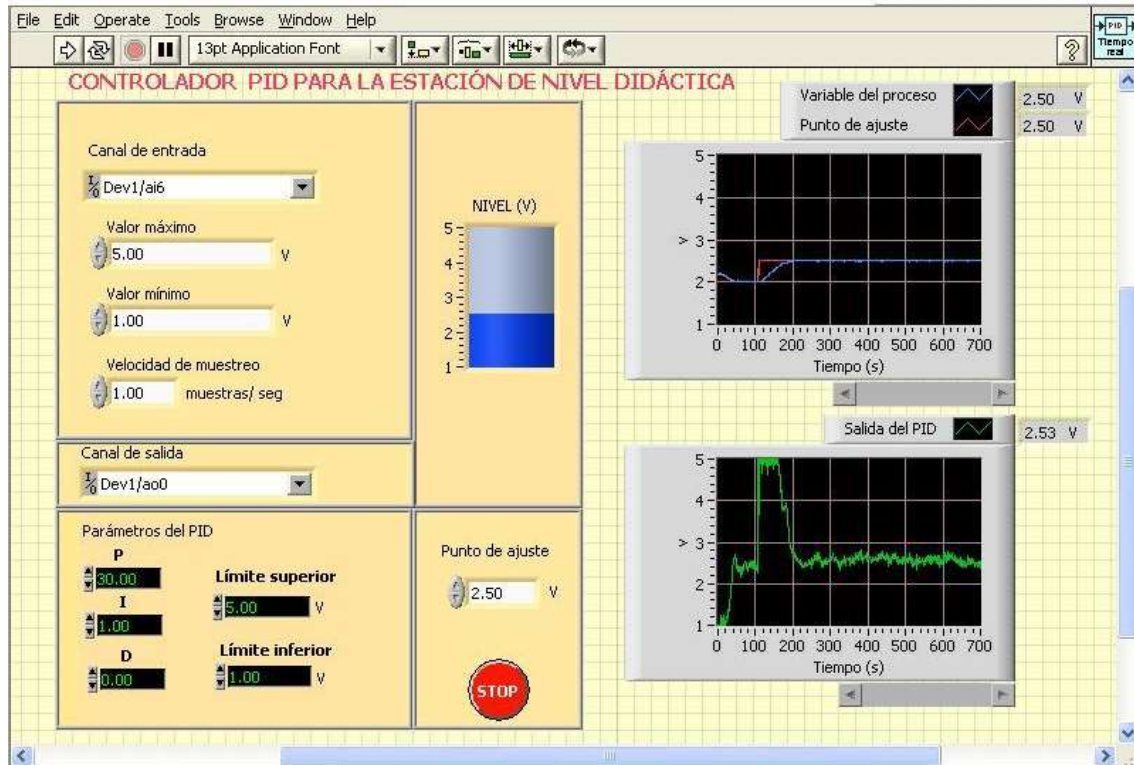
Fuente: Elaboración Propia

A partir de los parámetros anteriores y en base a que:

- La acción proporcional tiende a corregir de manera instantánea la diferencia entre la variable del proceso y el punto de ajuste,
- La acción integral completa el efecto de la acción proporcional anulando la diferencia residual en régimen permanente y
- La acción derivativa acelera la respuesta del regulador y mejora la estabilidad del lazo.

Se procedió a ajustar los parámetros, y el resultado obtenido se presenta en la figura 6.2. Donde la gráfica muestra que el controlador con $P=30$, $I=1$ y $D=0$ ya no presenta a su salida una variación tan extrema (entre 1 V y 5 V), ésta se establece en 2.53 V para mantener el nivel en el punto de ajuste, aunque se observa un sobrepulso que coincide con el tiempo de establecimiento de la variable del proceso con respecto al punto de ajuste. Se concluye que estas últimas ganancias ofrecen una respuesta satisfactoria al proceso.

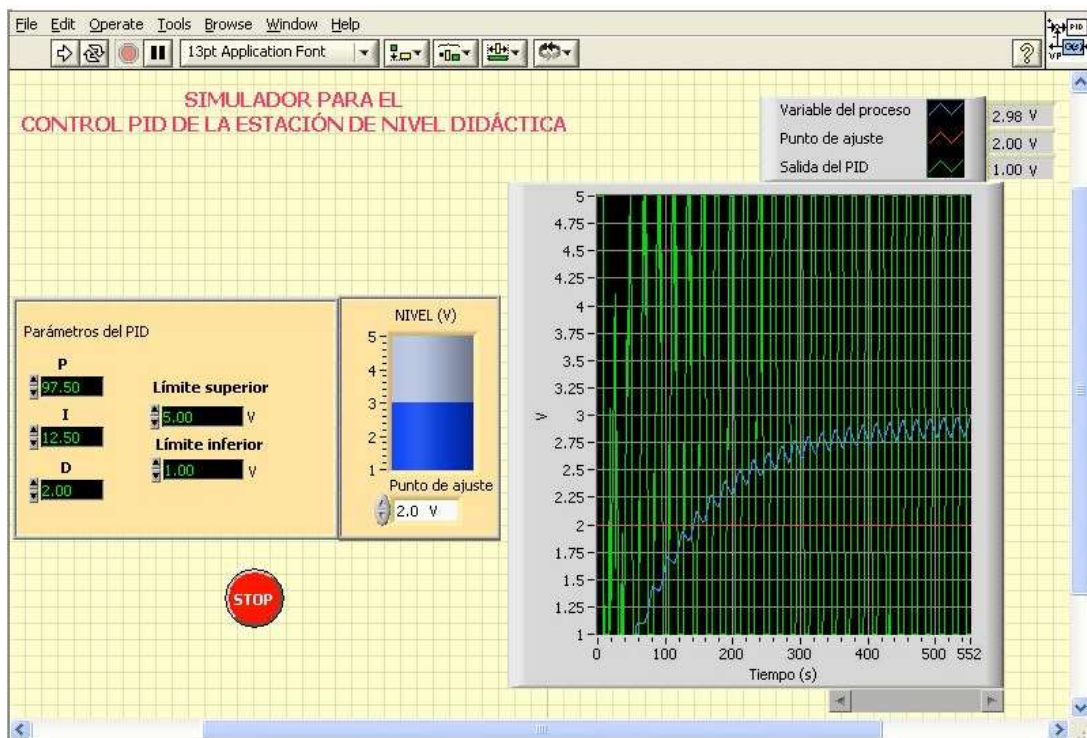
Figura 6.2 Controlador con $P=30$, $I=1$ y $D=0$



Fuente: Elaboración Propia

La respuesta del simulador presentada en la figura 6.3 con los parámetros determinados mediante el método de Ziegler y Nichols ($P=97.5$, $I=12.5$ y $D=2$), muestra que la salida del controlador presenta oscilaciones crecientes y la variable del proceso oscila fijándose arriba del punto de ajuste.

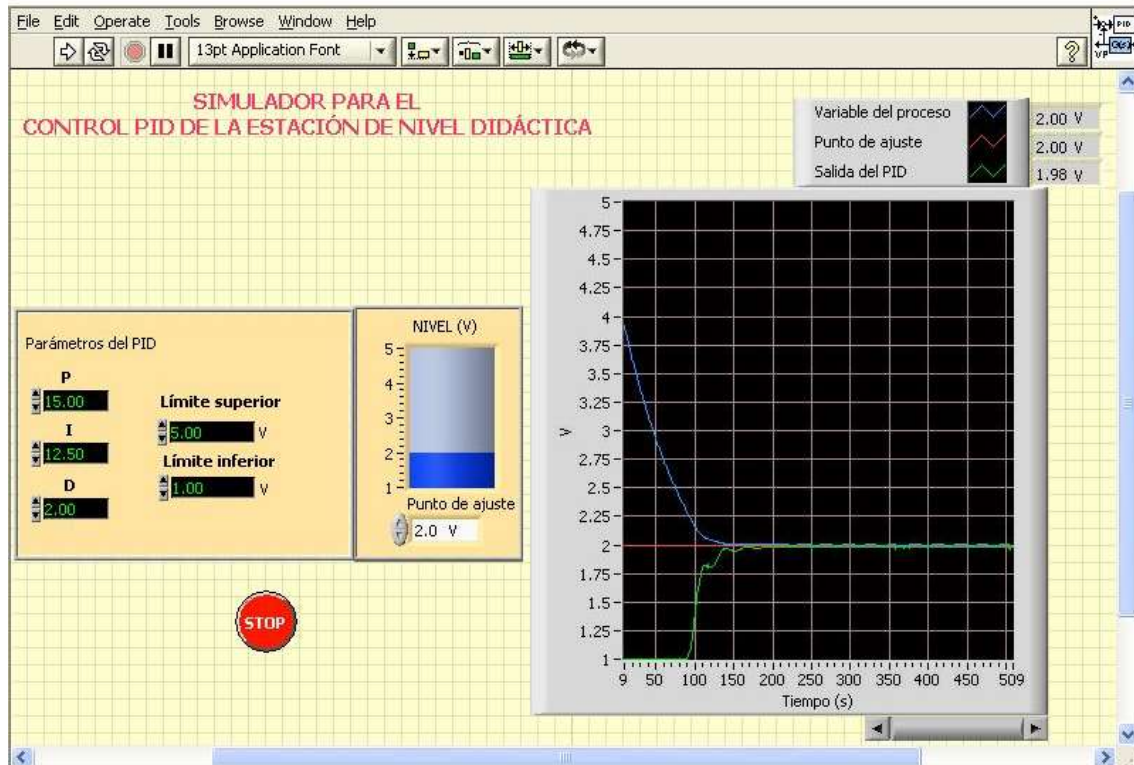
Figura 6.3 Simulador del controlador con $P=97.5$, $I=12.5$ y $D=2$



Fuente: Elaboración Propia

Para disminuir las oscilaciones crecientes se procedió a disminuir únicamente la ganancia proporcional a partir de los parámetros obtenidos por el método de Ziegler y Nichols, observándose la respuesta de la figura 6.4, donde el PID deja de oscilar y la variable del proceso se fija exactamente en el punto de ajuste.

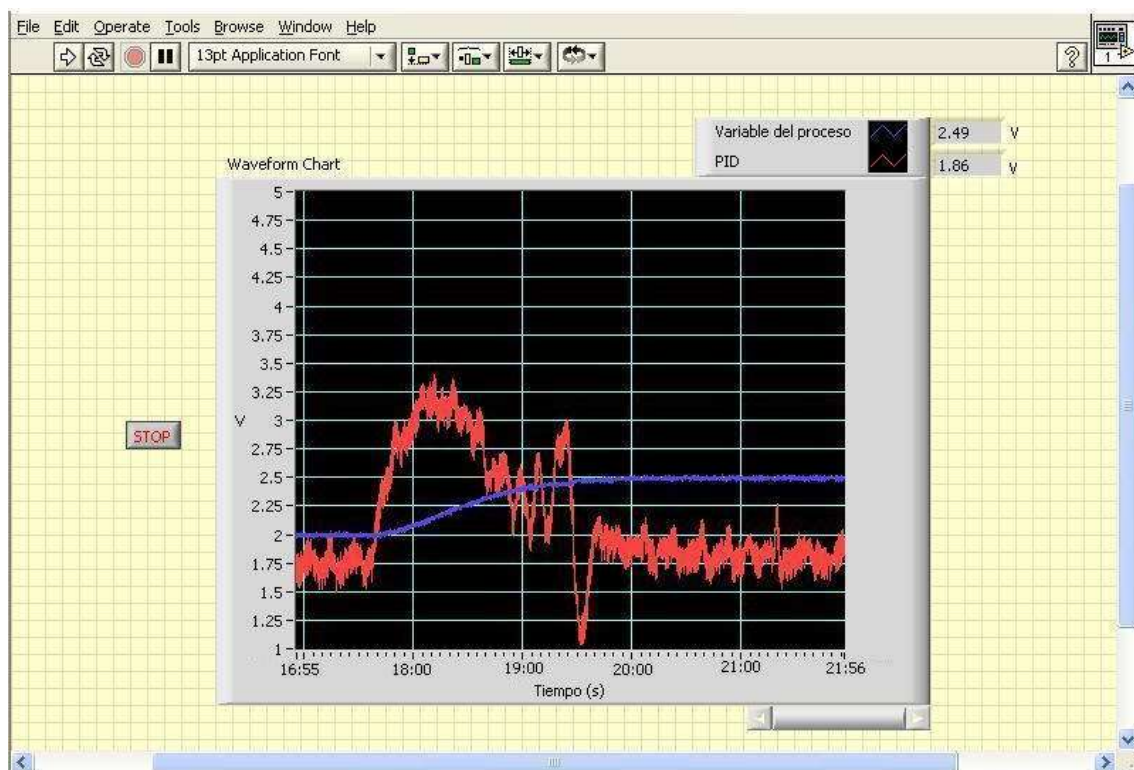
Figura 6.4 Simulador del controlador con $P=15$, $I=12.5$ y $D=2$



Fuente: Elaboración Propia

La estación de trabajo didáctica está diseñada como un sistema abierto, de manera que la variable del proceso pueda ser controlada por diferentes controladores, en la figura 6.5 se muestra la respuesta del controlador Hanyoung PX9 y la variable del proceso, que se obtiene con los parámetros del controlador determinados durante la función de autosintonía que presenta (punto 1.3.6, $P=6.4$, $I=48$ y $D=12$). La respuesta del PID exhibe un sobrepulso en el cambio del punto de ajuste, así como algunas oscilaciones durante el tiempo de establecimiento de la variable del proceso.

Figura 6.5 Controlador Hanyoung PX9 con $P=6.4$, $I=48$ y $D=12$



Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

Los resultados presentados en el capítulo anterior ratifican lo establecido para los diversos métodos de sintonización de parámetros para un controlador, estos métodos proporcionan una aproximación a los ajustes óptimos para los controladores, de manera que determinar los óptimos tome un menor tiempo que el que se emplearía en efectuar los ajustes por métodos estocásticos.

Las ganancias del controlador virtual, del simulador y del controlador Hanyoung PX9 que presentaban una respuesta satisfactoria no son iguales, debido a que los controladores no son ideales y sus características varían, además las no linealidades en el proceso hacen necesaria en ocasiones una resintonización.

El simulador diseñado permite experimentar con el proceso y evitar el ensayo y error en el control del proceso real. Además, permite apreciar el contraste entre la teoría y las aproximaciones matemáticas con el comportamiento físico que se presenta en la realidad.

Por otra parte, el controlador virtual diseñado e implementado no únicamente está limitado para aplicarse al control de la variable nivel de la estación de trabajo didáctica, también se puede aplicar al control de diferentes procesos que manejen las señales estándar de instrumentación (4~20 mA y 1~5 V).

La estación de trabajo didáctica está diseñada e implementada como sistema abierto, de manera que se puedan sustituir los elementos principales que la componen como el sensor ultrasónico, el controlador y la válvula, con el objetivo de experimentar con diferentes dispositivos o para evitar que llegue a ser obsoleta, ventaja que presenta a diferencia de algunas que se encuentran en el mercado que tienen el inconveniente de ser sistemas cerrados, difíciles de modificar.

Referencias

Alam, F., Hadgraft, R. & Subic, A. (2014). Technology-Enhanced Laboratory Experiments in Learning and Teaching, Using Technology Tools to Innovate Assessment, Reporting, and Teaching Practices in Engineering Education, 289-302. doi:10.4018/978-1-4666-5011-4.ch021.

Åström, K. & Hagglund, T. (2010). Control PID avanzado. Prentice Hall. ISBN 8483225115. p. 67.

Idem.

Idem.

Idem.

Banner (2022). Sensor ultrasónico Q45ULI64ACR. Recuperado el 1 de septiembre de 2022 de <https://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/47818.pdf>

Idem.

Ibidem, p.2.

Idem.

Idem.

Fredes, C., Hernández, J. & Díaz, D. (2012); Potencial y Problemas de la Simulación en Ambientes Virtuales para el Aprendizaje, Formación Universitaria: ISSN: 0718-5006, vol. 5 (1), 45-56. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062012000100006>.

Guerrero-Hernández, A., Araque-Gallardo, J. & Gallo-Nieves, M. (2016). Implementación de módulos didácticos para sistemas electrónicos de potencia, Revista Educación en Ingeniería, 11 (21), 9-13. DOI: <https://doi.org/10.26507/rei.v11n21.593>

Guevara, P., Falcón, J., Sandoval, R., Medel, J. (2009) Equipos Didácticos Industriales en el modelo educativo de los Cecati, Innovación Educativa: ISSN: 1665-2673, vol. 9 (48), 73-81. <https://www.redalyc.org/pdf/1794/179414896007.pdf>

Hanyoung (s.f.). Controlador PX9. Recuperado el 3 de septiembre de 2022 de <https://www.enapart.es/marcas/hanyoung-nux/productos/px901>

Idem.

Idem.

Honeywell (s.f.), Electroválvula Honeywell. Recuperado el 3 de septiembre de 2022 de <https://www.honeywell.com/mx/es>

National Instruments (s.f.). PCI 6014. Recuperado el 1 de septiembre de 2022 de <https://www.ni.com/es-mx/support/model.pci-6014.html>

National Instruments (s.f.). Bloque terminal. Recuperado el 2 de septiembre de 2022 de <https://www.ni.com/es-mx/shop/accessories/products/terminal-block.html?modelId=119552>

Idem.

Idem.

Idem.

National Instruments (s.f.). LabVIEW. Recuperado el 3 de septiembre de 2022 de <https://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html>

Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna. Pearson Educación. ISBN: 9788483229552. <https://www.pearsoneducacion.net/mexico/tienda-online/ingenieria-control-moderna-ogata-1ed-ebook1>

Río, M. L., Díaz, M. A., Márquez, D. C., Quintana, D. R., & Lorenzo, J. A. M. (2022). Estrategia didáctica para el proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de software con la utilización del método de proyecto. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 33. <http://www.acimed.sld.cu/index.php/acimed/article/view/1687>

Smith, C., Corripio, A. (2004). Control automático de procesos. México, D.F. Limusa. ISBN 968-18-3791-6

Idem.

Smith, C., Corripio, A. op. cit, p. 266.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor

Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)

International Identification of Science - Technology and Innovation

ID 1er Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1er Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1er Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1er Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2do Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2do Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3er Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3er Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Citación: Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1er Autor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 1er Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 2do Coautor. Apellido, Primer letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre del 3er Coautor. Apellido

Correo institucional [Times New Roman No.10]

Primera letra (EN MAYUSCULAS) del Nombre Editores. Apellidos (eds.) Título del Book [Times New Roman No.10], Temas Selectos del área que corresponde ©ECORFAN- Filial, Año.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Abstract

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo, en inglés.

Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.12

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?.

Enfocar claramente cada una de sus características.

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Capítulo.

Desarrollo de Secciones y Apartados del Capítulo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Capítulos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

En *el contenido del Capítulo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

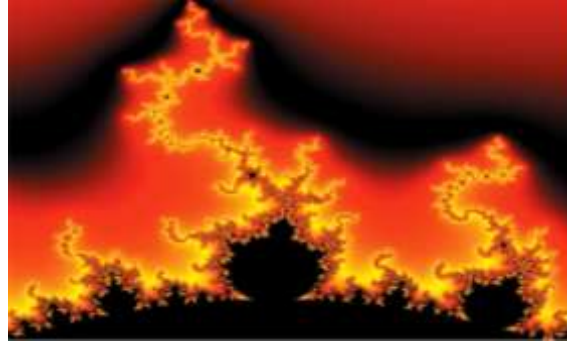
[Indicando el título en la parte Superior con Times New Roman No.12 y Negrita, señalando la fuente en la parte Inferior centrada con Times New Roman No. 10]

Tabla 1.1 Título

Variable	Descripción	Valor
P ₁	Partición 1	481.00
P ₂	Partición 2	487.00
P ₃	Partición 3	484.00
P ₄	Partición 4	483.50
P ₅	Partición 5	484.00
P ₆	Partición 6	490.79
P ₇	Partición 7	491.61

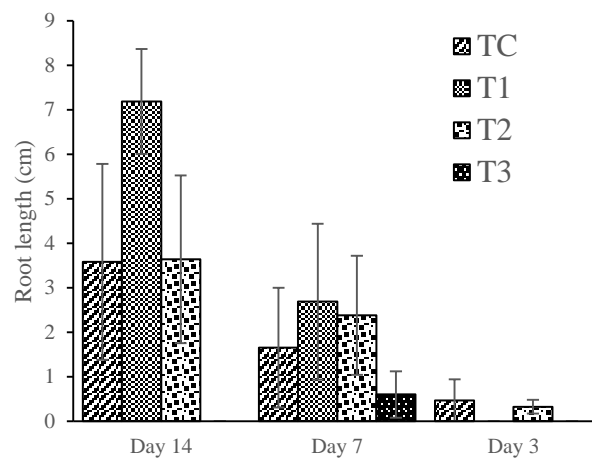
Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Figura 1.1 Título



Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Gráfico 1.1 Título



Fuente de Consulta:
(No deberán ser imágenes, todo debe ser editable)

Cada Capítulo deberá presentar de manera separada en 3 Carpetas: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$\int_{lim^{-1}}^{lim^1} = \int \frac{lim^1}{lim^{-1}} = \left[\frac{1(-1)}{lim} \right]^2 = \frac{(0)^2}{lim} = \sqrt{lim} = 0 = 0 \rightarrow \infty \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados.

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Capítulo.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Capítulo.

Ficha Técnica

Cada Capítulo deberá presentar en un documento Word (.docx):

Nombre del Book

Título del Capítulo

Abstract

Keywords

Secciones del Capítulo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

Reserva a la Política Editorial

ECORFAN Books se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar la Obra Científica a la Política Editorial del ECORFAN Books. Una vez aceptada la Obra Científica en su versión final, el ECORFAN Books enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación de la Obra Científica.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito de la Obra Científica, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución.

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de la Obra Científica que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes de la Obra Científica deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia de la Obra Científica propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título de la Obra Científica:

- El envío de una Obra Científica a ECORFAN Books emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en esta Obra Científica ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en la Obra Científica, así como las teorías y los datos procedentes de otras Obras Científicas previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de esta Obra Científica se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en la Obra Científica.

Copyright y Acceso

La publicación de esta Obra Científica supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding México para su ECORFAN Books, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada de la Obra Científica y la puesta a disposición de la Obra Científica en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título de la Obra Científica:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre la Obra Científica enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio a la Obra Científica el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de la Obra Científica. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con la Obra Científica que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter la Obra Científica a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Obras Científicas son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Obra Científica definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza de la Obra Científica presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

RESEARCH GATE (Alemania)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Books con PLAGSCAN

Evaluación de Obra Científica

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Obra Científica

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Publicación de Obra Científica

Certificado de Obra Científica

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

143 - 50 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistentes Editoriales

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan), sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

143 - 50 Itzopan, Ecatepec de Morelos – México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre – Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenida, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Camerún.

Avenida Suroeste, San Sebastian - León-Nicaragua.

31Kinshasa 6593- Republique Démocratique du Congo.

Avenida San Quentin, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 kilómetros, carretera estadounidense, casa Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Capitán, CP-2060. Luque City- Paraguay.

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

43 Calle # 30 -90 B. El Triunfo CP.50001. Bogotá-Colombia



ISBN 978-607-8695-78-2



www.ecorfan.org