

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

CONTROL PID DE NIVEL DE UNA PLANTA DE PROCESOS A TRAVÉS DE LABVIEW

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en Control e
Instrumentación Industrial.

Alumno:

Alex Rodrigo Mura Soto

Profesor Guía:

Ing. Loreto Marín Carcey

2019

DEDICATORIA

*Agradezco en primer lugar a Dios,
Por tener la oportunidad de estudiar y tener la posibilidad de tener un título por segunda vez
Y llenarme de conocimientos y crecimiento personal,
Agradecer a mis Padres Rodrigo Mura y Luz María Soto,
Que a pesar de mi edad me acompañan, guían y motivan a ser cada día una mejor persona,
Agradezco a mi pareja Nicole Ramírez,
Su amor, comprensión, paciencia y animo fueron clave durante estos tres años,
A mi hermano Carlos Mura,
Por su apoyo, ayuda y guía para el desarrollo de este trabajo, a pesar de su tiempo limitado,
Y por último, pero no menos importante,
Mi hermanito menor Andrés Mura,
Su alegría y amor incondicional, ilumina hasta mis días más difíciles con su sonrisa.*

“Trabajar y estudiar son tareas complicadas en la vida, pierdes momentos importantes y tiempo de ocio o descanso, pero si me preguntan si valió la pena, es una experiencia importante en la vida y te hace madurar y crecer, donde no me arrepiento. Es tiempo de cosechar lo sembrado”.

RESUMEN

KEYWORDS: Proyecto, planta de nivel, controlador, LabVIEW.

El siguiente trabajo de título contempla el control de nivel de una planta de procesos que se encuentra en el laboratorio correspondiente al edificio "M" de la Universidad Técnica Federico Santa María sede José Miguel Carrera. El software que se utilizará para el control es LabVIEW, donde además de existir el nivel como variable a controlar, se visualizarán la presión y el actuador.

Al conocer en detalle los instrumentos y cualidades técnicas de los sensores y actuador de la planta a desarrollar, es posible determinar el diseño e implementación técnica del control. También se contempla en el desarrollo del proyecto, sus conexiones físicas como circuitos acopladores e interfaces de comunicación, los requerimientos de software, esquemas de control, modelamiento del sistema, además del cálculo de las ganancias, como la programación y diseño del controlador con su visualización.

Por último, se analizarán las respuestas obtenidas a la salida del controlador, se mostrarán pruebas varias respecto a interrupciones o perturbaciones externas al proceso normal de control, con la finalidad de visualizar el correcto control del sistema de nivel.

Adicionalmente, se analizará el estudio de mejoras para la planta instalada, con la finalidad de determinar si es necesario alguna mejora continua.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	2
1.1. LA INSTITUCIÓN	3
1.2. DESCRIPCIÓN INICIAL DE LA PLANTA	4
1.2.1 Uso y objetivos actuales de la planta	9
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.4. PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	11
1.5. OBJETIVOS	12
1.5.1 Objetivo general	12
1.5.2 Objetivos específicos	12
1.6. ¿QUÉ ES LABVIEW?	12
1.6.1 Módulos e interfaz de comunicación	14
CAPÍTULO 2: DISEÑO Y DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN	17
2.1. ESQUEMA DE CONTROL	18
2.2. CONEXIONES FÍSICAS	19
2.2.1 Circuito acoplador planta-tarjetas	20
2.3. REQUERIMIENTO DE SOFTWARE	22
2.3.1 Controladores para LabVIEW	23
2.3.2 Matlab y su aplicación	24
2.4. DESARROLLO Y OBTENCIÓN DEL MODELO DEL SISTEMA	24
2.4.1 Obtención de datos experimentales	25
2.4.2 Obtención del modelo de la planta.	27
2.4.3 Obtención de función de transferencia a través de Matlab	28
2.5. DESARROLLO Y OBTENCIÓN DEL CONTROLADOR	31
2.5.1 Lugar geométrico de raíces	31
2.6. PROGRAMACIÓN EN LABVIEW	35
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y CONCLUSIONES OBTENIDOS	38

3.1.	RESULTADOS Y RESPUESTAS DEL CONTROLADOR PI	39
3.1.1	Respuesta del controlador PI	39
3.1.2	Respuesta de presión en la planta de nivel	42
3.2.	RESUESTA A LAS PERTURBACIONES EXTERNAS	43
3.2.1	Agregando Liquido al estanque	43
3.2.2	Cerrando válvulas manuales	44
3.2.2.1	Válvula 2 cerrada y válvula 1 al 100%	45
3.2.2.2	Válvula 2 al 50% y válvula 1 al 100%	46
3.2.2.3	Válvula 1 al 66.66% y válvula 2 al 100%	47
3.2.2.4	Válvula 1 al 33,33% y válvula 2 al 100%	48
3.3.	MEJORAS PARA LA PLANTA DE NIVEL	49
3.3.1	Desarrollo y uso del flujómetro	50
3.3.2	Desarrollo y uso la válvula proporcional	51
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Imagen de la planta de control de nivel.	4
Figura 1-2. Diagrama P&ID de planta de nivel.	5
Figura 1-3. Sensor de Nivel Keller serie 26Y.	7
Figura 1-4. Sistema de control en lazo cerrado.	10
Figura 1-5. Ejemplo de panel frontal y estilo de lenguaje gráfico en LabVIEW.	13
Figura 1-6. Tarjeta adquisidora de LabVIEW con módulos de entrada y salida.	14
Figura 2-1. Esquema de control de la planta a controlar.	18
Figura 2-2. Circuito acoplador de corriente y voltaje.	21
Figura 2-3. Grafica lineal de Sensor de nivel vs Litros.	26
Figura 2-4. Gráfico por de datos obtenidos y datos filtrados por Matlab.	28
Figura 2-5. Ventana al ingresar al comando ident	29
Figura 2-6. Gráfica del modelo del proceso y su asertividad.	30
Figura 2-7. Señal de respuesta a un controlador PID.	33
Figura 2-8. Lugar geométrico de raíces y comportamiento del PI	34
Figura 2-9. Programación del Diagrama en bloques de LabVIEW.	36
Figura 2-10. Panel Frontal del programa de LabVIEW.	37
Figura 3-1. Señales de respuesta del controlador PI.	40
Figura 3-2. Graficas de nivel y controlador al aumentar 1 litro de nivel.	44
Figura 3-3. Graficas de nivel y controlador al cerrar válvula 2.	45
Figura 3-4. Datos entregados en el panel frontal con válvula 2 al 50%.	46
Figura 3-5. Datos entregados en el panel frontal con válvula 1 al 66,6%.	48
Figura 3-6. Configuración de puertos de modulo NI 9871.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Datos técnicos de Sensor de nivel Keller.	6
Tabla 1-2. Datos Técnicos de Sensor de presión Keller	6
Tabla 1-3. Datos Técnicos de flujómetro Arkon.	7
Tabla 1-4. Datos técnicos de Bomba Centrifuga.	8
Tabla 1-5. Datos técnicos de controlador PLC Siemens.	8
Tabla 1-6. Información técnica de modulo NI 9223	15
Tabla 1-7. Información técnica de modulo NI 9203	15
Tabla 1-8. Información técnica de modulo NI 9263	16
Tabla 2-1. Variables de entrada a tarjeta adquisidora.	20
Tabla 2-2. Variables de salida de tarjeta adquisidora.	22
Tabla 2-3. Equivalencia de litros a corriente en sensor.	25
Tabla 2-4. Ejemplo de los datos obtenidos al aplicar un escalón de voltaje.	27
Tabla 3-1. Equivalencia de voltaje entre controlador y actuador	41
Tabla 3-2. Valores experimentales en sensor de presión.	43
Tabla 3-3. Registro comparativo de datos experimentales al manipular válvulas.	49

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLA

P&ID	: Diagrama de Tuberías e Instrumentación.
PID	: Controlador Proporcional, Integral y Derivativo.
P	: Control Proporcional.
PI	: Control Integrativo.
PD	: Control Derivativo.
PLC	: Controlador Lógico Programable.
Vi	: Instrumento Virtual.
UTFSM	: Universidad Técnica Federico Santa María.
ENAP	: Empresa Nacional del Petróleo.
CODELCO	: Corporación Nacional del Cobre de Chile.
PIC	: Controlador de Interfaz Periférico.
HMI	: Interfaz Hombre-Maquina.
USB	: Universal Serial Bus
E/S	: Entrada y Salida.
SCADA	: Supervisión, Control y Adquisición de Datos.
DSC	: Registro de Datos y Control de Supervisión.
DAQ	: Adquisición de Datos.
SISO	: Una Entrada, Una Salida
AI – AO	: Entrada Analógica – Salida Analógica.
COM	: Entrada o Salida Común.
NI	: National Instruments.
K	: Valor de Ganancia
TI	: Tiempo Integrativo en Segundos.
TD	: Tiempo Derivativo en Segundos.
UF	: Unidad de Fomento chilena.

B. SIMBOLOGÍA

Ω	: Ohm, unidad de medida de Resistencia eléctrica.
$G\Omega$: Giga-Ohm.
VDC	: Voltaje de corriente continua.
VAC	: Voltaje de corriente alterna.
S	: Segundos.
ms	: Milisegundos.
L	: Litro.
R	: Resistencia.
B	: Beta.
W	: Watts.
mW	: Mili-Watts.
Hz	: Hertz, unidad de medida de frecuencia.
mHz	: Mili-Hertz.
GHZ	: Giga-Hertz.
mA	: Miliamperios.
V	: Volts.
Vrms	: Valor eficaz en volts
A	: Amper.
°C	: Grados Celsius.
Hrs	: Horas.
Min	: Minutos.
%	: Porcentaje.
\geq	: Mayor o igual que.
\leq	: Menor o igual que.
\$: Pesos Chilenos.
Vdd	: Voltaje de Alimentación Positivo.

INTRODUCCIÓN

El proyecto que se presenta a continuación es el desarrollo de un control de nivel y monitoreo de una planta de procesos a través de la herramienta LabVIEW. Este trabajo de título es desarrollado a través de un proyecto entregado por la Universidad Técnica Federico Santa María Sede José Miguel Carrera con la finalidad de realizar la defensa para optar al título Profesional de Ingeniero de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial.

El proyecto contempla cuatro grandes ejes: El estudio detallado de las partes de la planta y sus componentes, la obtención del modelo de la planta, la programación de un controlador eficaz en LabVIEW con su interfaz gráfica y finalmente, la medición de los resultados obtenidos.

Por último, el objetivo de la lectura de este trabajo es poder generar reflexión sobre los conocimientos entregados en clases, tanto en la formación técnica, como también en la ingeniería para su correcta aplicación.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

Este proyecto contempla el control de nivel de una planta de procesos que se encuentra en el laboratorio de Control de Procesos de la Universidad Técnica Federico Santa María sede José Miguel Carrera. Las herramientas para controlar dicha planta son PLC y principalmente LabVIEW con la finalidad de obtener un control PID, donde además de existir el nivel como variable a controlar, se monitorearán en el proceso variables como presión y actuador.

El capítulo 1 presenta el lugar donde se desarrolló el proyecto, en qué consiste y el contexto de los posibles usos de este.

1.1. LA INSTITUCIÓN

La Universidad Técnica Federico Santa María es una institución académica que posee como misión principal, crear y difundir nuevo conocimiento, y formar integralmente profesionales idóneos en el ámbito científico - tecnológico, para liderar el desarrollo del país y la humanidad.

Son una comunidad universitaria de excelencia, que se vitaliza con la diversidad e independencia de los procesos de descubrimiento y aprendizaje, y que, de acuerdo con la voluntad testamentaria de don Federico Santa María Carrera, pone especial énfasis en la integración de aquellos que, reuniendo las condiciones exigidas por el quehacer académico, no poseen suficientes medios materiales.

El proyecto desarrollado se encuentra al interior de la sede José Miguel Carrera ubicada en Viña del Mar, sede que está enfocada a carreras técnicas profesionales e ingenierías principalmente vespertinas, donde constantemente se elaboran proyectos para la mejora de laboratorios y equipamientos tecnológicos de alto nivel, intentando simular lo que sería un ambiente y/o espacio laboral ideal.

El Departamento de Electrónica e Informática cuenta con una planta de procesos con el propósito de simular un estanque con variables de nivel, presión y flujo.

1.2. DESCRIPCIÓN INICIAL DE LA PLANTA

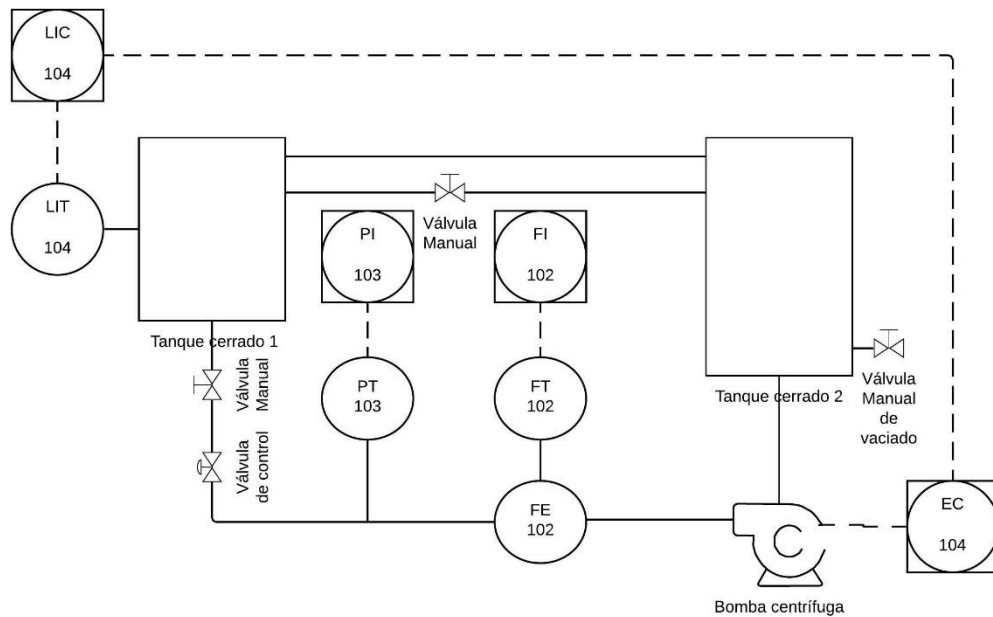
La planta actualmente es usada para las carreras diurnas, y su propósito es emplearla en distintas asignaturas que contemplan control de procesos, instrumentación, electrónica, entre otros. Como se aprecia en la Figura 1-1 existen distintos elementos, de los cuales serán descritos brevemente, sus características y funcionamiento al interior del proceso.



Fuente: Elaboración propia foto de planta de nivel.

Figura 1-1. Imagen de la planta de control de nivel.

Para la descripción e identificación de cada instrumento es necesario un diagrama P&ID, como se muestra en la Figura 1-2. Este diagrama es un resumen y diseño del proceso de la planta de nivel, incluyendo todos los equipos mecánicos, sus interconexiones, válvulas, instrumentación y lazos de control, ya que a menudo se podrá encontrar con instalaciones de considerables dimensiones y con multitud de elementos, materiales e instrumentos que conforman dicha instalación, con esto se puede identificar estos equipos e instrumentos de una manera sencilla y poder tener además una idea de las condiciones de diseño de cualquier proyecto de ingeniería.



Fuente: Elaboración propia en página www.lucidchart.com.

Figura 1-2. Diagrama P&ID de planta de nivel.

Los instrumentos indicados en la Figura 1-2, son:

- Dos estanques de mica transparente: El primer estanque contiene indicador de volumen hasta los 9 L. Por la parte trasera de este posee un compartimiento para el rebalse del agua aproximadamente sobre los 11 L. Tanto el conducto del rebalse como el conducto principal de sistema son conectados hacia el segundo estanque, un poco más grande, que

tiene un indicador hasta los 12 L pudiendo llegar a un tope no mayor de 16 L aproximadamente, con la finalidad que el segundo estanque nunca llegue a su tope máximo sobre el nivel indicado.

- Sensor de Nivel: Sensor Keller serie 26Y, correspondiente a la Figura 1-3. Es de muy alta precisión y estabilidad a largo plazo, excelente para aplicaciones de adquisición de datos. A continuación, la Tabla 1-2, muestra las características técnicas más relevantes.

Tabla 1-1. Datos técnicos de Sensor de nivel Keller.

Características	Rangos
Tención de Alimentación	8 – 32 VDC
Presión	0,1 – 10 bar
Tiempo de arranque	5 ms
Salida de corriente	4 - 20 mA
Salida de Voltaje	0 - 10 VDC

Fuente: Elaboración propia características técnicas de sensor Keller serie 26Y.

- Presión: Keller serie 33X, transmisor de alta presión, se usa para detectar el valor de presión que tiene la entrada del estanque 1 en la planta, los valores de salida de este transmisor pueden ser usados de forma digital o análoga, en el caso particular de esta planta, se está utilizado de forma análoga. Su detalle corresponde a la Tabla 1-2.

Tabla 1-2. Datos Técnicos de Sensor de presión Keller

Características	Rangos
Tención de Alimentación	8 – 32 VDC
Presión	0 – 1 bar
Salida de corriente	4 - 20 mA

Fuente: Elaboración propia características técnicas de sensor Keller serie 33X.



Fuente: Elaboración propia foto de sensor de nivel

Figura 1-3. Sensor de Nivel Keller serie 26Y.

- Flujo: El flujómetro Arkon, la lectura de su señal es a través de modbus, tiene sus características técnicas resumidas en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Datos Técnicos de flujómetro Arkon.

Características	Rangos
Tensión de Alimentación	24 VDC
Consumo máximo	600 mA
Salida	3.3V/2A - 23.6V/300mA
Frecuencia	50 – 60 Hz
Temperatura del líquido	-20 – 70 °C

Fuente: Elaboración propia características técnicas flujómetro Arkon.

- Bomba Centrífuga: La bomba de circulación CM 10/30 es quien realiza el traslado del agua de un estanque a otro por su presión. Sus especificaciones de trabajo se encuentran en la Tabla 1-4, además, esta bomba puede ser instalada de forma horizontal o vertical y tiene la particularidad que puede soportar hasta 30 min de funcionamiento sin agua. No debe utilizarse en aguas que contengan partículas sólidas.

Tabla 1-4. Datos técnicos de Bomba Centrífuga.

Características	Rangos
Tensión de Alimentación	10 - 24 VDC
Consumo máximo	1 A
Presión máxima	2.5 bar
Temperatura del liquido	-40 – 100 °C

Fuente: Elaboración propia características técnicas bomba de circulación CM 10/30.

- Controlador PLC: El PLC que se encuentra en la Figura 1-1, corresponde a un Siemens simatic s7 1200, es un controlador modular de alta capacidad de procesamiento, contiene interfaces Ethernet y PROFINET integrado, además de entradas y salidas analógicas y digitales para la conexión hacia la planta que se desea controlar.

Tabla 1-5. Datos técnicos de controlador PLC Siemens.

Características	cantidad	Rango de tolerancia
Fuente de Alimentación		24 VDC / 2,5 A
Entradas digitales	14	Tipo fuente: 24 VDC a 4 mA
Salidas digitales	10	Tipo relé: 5 - 30 VDC o 5 - 250 VAC / 2 A Tipo fuente: 20.4 - 28.8 VDC / 0,5 A
Entradas analógicas	2	Tipo tensión: 0 – 10 VDC

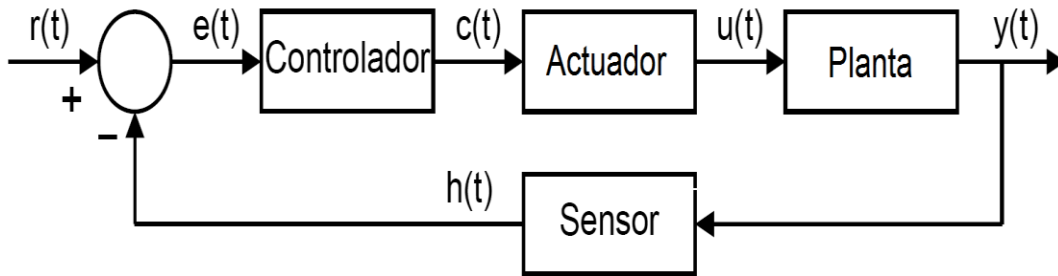
Fuente: Elaboración propia características técnicas de controlador PLC.

- Cuatro válvulas: Dos de estas son manuales donde el operador podrá dejar en el estado que desea desde cerrado hasta completamente abierto, generando así perturbaciones externas al proceso normal del sistema. También existe una con solo el propósito de extracción total del líquido del estanque 2, que es la válvula manual de vaciado. Por otro lado, la válvula de color naranja corresponde a una proporcional de 24 VAC 50/60 Hz o 24VDC y puede ser controlada de forma eléctrica, esta trabaja en señales de 0 a 10 VDC para ir regulando la posición de cerrado o abierto, esta función no es muy utilizada ya que la actuación de la válvula tarda un par de minutos, ralentizando el proceso y no siendo óptimo para controlar.
- Fuente de poder variable: Es la fuente principal de alimentación de la planta como se visualiza en la Figura 1-1, esta sólo genera voltaje continuo llegando un valor aproximado de 30 VDC. Su principal característica es la posibilidad de variar el voltaje de la fuente de poder a la necesidad del usuario y además obtener el valor de corriente que se está usando durante el uso de la planta.
- El tablero de energía y señal: Corresponde a las entradas y salidas de los distintos elementos ya mencionados para poder ser energizados y también obtener las respuestas de salidas de ellos.

1.2.1 Uso y objetivos actuales de la planta

Según los objetivos iniciales de la planta, la Universidad mediante sus docentes inculca las habilidades de poder reconocer la estructura de un sistema de control utilizando los conocimientos industriales aprendidos en las asignaturas de las Carreras relacionadas al área.

Con dichos conocimientos, los alumnos de la Sede tienen que ser capaces de poder identificar el controlador, la planta y su proceso como muestra en la Figura 1-4, con la finalidad de implementar lazos de control con los sistemas electrónicos analógicos y digitales como además, aplicar técnicas de sintonización en el lazo de control para poder controlar el nivel requerido en la planta.



Fuente: Apuntes ramo Control de Procesos USM modalidad vespertina.

Figura 1-4. Sistema de control en lazo cerrado.

Algunos pasos específicos para llevar a cabo el correcto funcionamiento de la planta de procesos son:

- Estudio previo de los manuales o datasheet de los instrumentos existentes al interior de la planta.
- Tener conocimientos básicos de ramos de control e instrumentación, como por ejemplo, la programación en PLC.
- Identificar el controlador, actuador, planta y sensor en el proceso.
- Seguridad y control total del uso de instrumentos de medición y de alimentación como multímetros y generadores de voltajes.
- Cumplir con las normas básicas de seguridad que imparte la Universidad y profesores.
- Seguir paso a paso las instrucciones de profesores o guías de laboratorio.

Al tener cumplidos estos pasos el alumno será capaz de tener los conocimientos base y poder replicar esto o utilizar las herramientas entregadas para cualquier proceso de control, como también la creación de este.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Pese a que la planta de nivel cuenta con la capacidad de integrar tecnologías en forma de controladores, sensores y actuadores, que ampliarían sus posibilidades, la aplicación de dichas mejoras implican una inversión de tiempos y recursos que hasta el momento no había sido posible por motivos que a continuación se detallan.

La Sede de Viña del Mar tiene un tiempo limitado de enseñanza y de objetivos a cumplir, donde es prácticamente poco factible el poder aplicar cada uno de los controladores o utilizar distintos tipos de tecnología. Por lo mismo normalmente los profesores enseñan la base del conocimiento de programación el microcontrolador PIC y para conocimientos enfocados al área industrial, la programación de los controladores PLC que son más comunes de encontrar en una planta de procesos, dejando sólo las herramientas y el estudio personalizado de cada individuo para aprender como por ejemplo, realizar control con Arduino para los casos de la robótica, drones y programación en LabVIEW para áreas industriales, entre otros.

1.4. PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Dichas herramientas o instrumentos existen en la Universidad y solo es necesario el tiempo y la dedicación para generar proyectos o uso de estos. Por lo mismo la Universidad Técnica Federico Santa María propone a sus alumnos vespertinos, facilitar proyectos para usos internos de la facultad y también teniendo el fin de agregar más proyectos funcionales que sirvan como herramientas a los docentes y alumnado, para uso del conocimiento y aprendizaje.

Con la finalidad de realizar nuevas formas de control utilizando algunas tecnologías poco comunes en el interior de una sala de clases, se generó el proyecto de poder controlar una planta de nivel en el interior de los laboratorios de electrónica.

1.5. **OBJETIVOS**

Los objetivos son los fines hacia los cuales se dirige la actividad del proyecto, también son los márgenes para el correcto desarrollo y trabajo en la planta con la finalidad de lograr la etapa el control deseada. A continuación, se detalla el objetivo general y sus objetivos específicos.

1.5.1 **Objetivo general**

Realizar el control de nivel y monitoreo de una planta de procesos a través de la herramienta LabVIEW.

1.5.2 **Objetivos específicos**

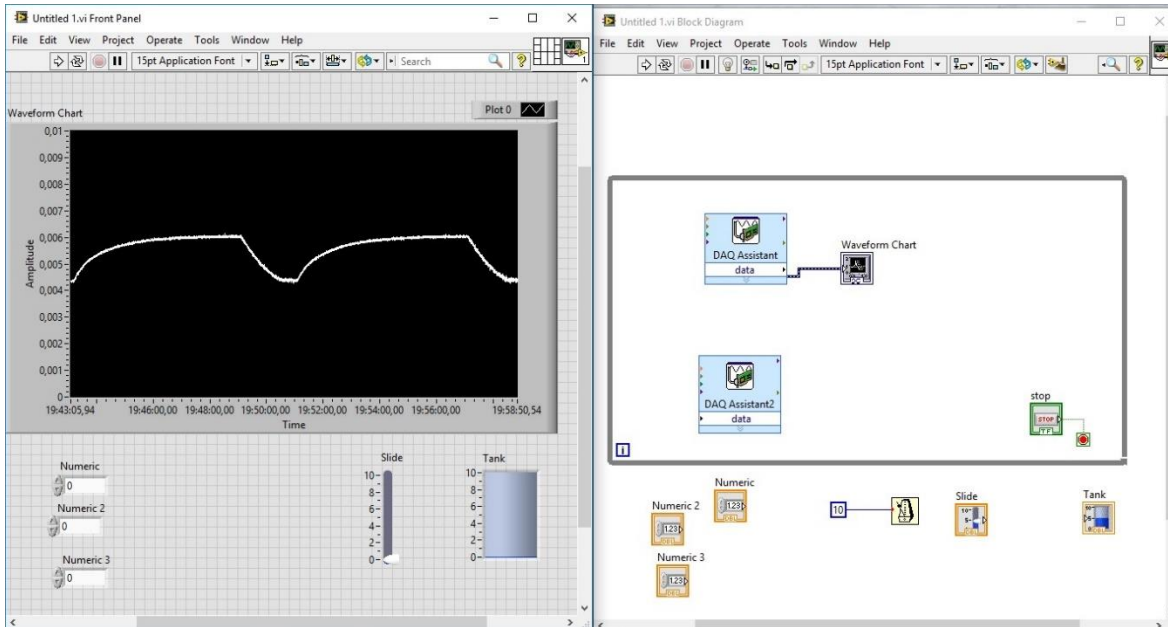
- A. Realizar un diagrama de control y plano P&ID de la planta.
- B. Obtener el modelo de la planta.
- C. Realizar Programación de controlador PID en LabVIEW y crear su HMI.
- D. Realizar pruebas y obtener resultados.

1.6. **¿QUÉ ES LABVIEW?**

Es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico que ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración de hardware, datos de medidas y depuración. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico como se aprecia en la Figura 1-5.

En el proyecto se propuso este tipo de programación ya que, además de que este programador se encuentra al interior de la Sede José Miguel Carrera, no es utilizado al interior de las aulas de clases siendo su principal característica la facilidad de su uso, ya que aunque es

utilizado por programadores profesionales, también sirve como herramienta para personas con pocos conocimientos en programación, donde pueden hacer programas relativamente complejos, a diferencia con lenguajes tradicionales.



Fuente: Elaboración propia, Panel frontal y Lenguaje gráfico en LabVIEW.

Figura 1-5. Ejemplo de panel frontal y estilo de lenguaje gráfico en LabVIEW.

Ser un lenguaje gráfico significa que los programas no se realizan en textos de comandos, sino que se utilizan diagramas o se “dibujan bloques”, facilitando su comprensión. Al tener ya prediseñados una gran cantidad de bloques, se facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en vez de estar una gran cantidad de tiempo programando un dispositivo/bloque, permite invertir menos tiempo y dedicar más en la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final.

Los programas en LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VIs), cada VI consta de dos partes distintas como se visualiza en la Figura 1-5:

- Panel Frontal: Es la interfaz con el usuario, se utiliza para interactuar cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en

tiempo real. En esta interfaz se definen los controles, estos pueden ser botones, marcadores, entre otros; e indicadores que pueden ser gráficas.

- Diagrama de Bloques: es el programa propiamente tal, donde se define su funcionalidad, es ahí donde se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan.

1.6.1 Módulos e interfaz de comunicación

Actualmente existen varios interfaces de comunicación, para este proyecto la Universidad brinda el chasis de comunicación CompactDAQ USB cDAQ-9174, que se muestra en la Figura 1-6, su principal garantía es que usa una interfaz Hi-Speed USB 2.0 y cuatro módulos para ser utilizadas como tarjetas de E/S (entrada/salida) de la Serie C de forma analógica o digital (dependiendo del modelo), para poder medir una variedad de sensores y señales, que a su vez serán visualizadas y medidas en un computador por medio de LabVIEW.



Fuente: Elaboración propia foto de Tarjeta adquisidora de LabVIEW.

Figura 1-6. Tarjeta adquisidora de LabVIEW con módulos de entrada y salida.

Los módulos que ofrece la Universidad para la comunicación y adquisición de datos entre LabVIEW y la planta a controlar son:

- NI 9223: Esta tarjeta funciona como adquirente de datos analógicos de voltaje, sus características principales están incorporadas en la Tabla 1-6:

Tabla 1-6. Información técnica del módulo NI 9223

Características	Valor
Entrada	$\pm 10V$
Canales	4
Terminal	Terminal de tornillo
Consumo máximo activo	1 W
Impedancia de entrada	$>1G\Omega$
Aislamiento continuo	60VDC

Fuente: Elaboración propia características técnicas de modulo NI 9223.

- NI 9203: Corresponde a un módulo de entrada de corriente. Tiene rangos de entrada programable y varias opciones de conectividad, para protegerse contra señales transitorias, incluye doble barrera de aislamiento de canal a tierra para seguridad e inmunidad a ruido. Sus principales características se presentan en la Tabla 1-7:

Tabla 1-7. Información técnica del módulo NI 9203

Características	Valor
Entrada	Unipolar: 0 a 20mA Bipolar: $\pm 20mA$
Canales	8
Consumo máximo activo	399mW

Consumo máximo reposo	5mW
Aislamiento	250 Vrms

Fuente: Elaboración propia características técnicas de modulo NI 9203.

- NI 9263: Esta tarjeta trabaja como un módulo de Salida de Voltaje, es un módulo de salida analógica de actualización simultánea. Cuenta con protección de sobrevoltaje, cortocircuito, baja interferencia entre canales, rápida velocidad de respuesta, alta precisión relativa. Este módulo incluye doble barrera de aislamiento de canal a tierra para seguridad e inmunidad a ruido. A continuación, la Tabla 1-8, muestra algunas características técnicas:

Tabla 1-8. Información técnica del módulo NI 9263

Características	Valor
Salida	$\pm 10V$
Canal	4
Corriente máxima	1mA
Impedancia de salida	2Ω
Aislamiento	250 Vrms
Consumo máximo	A $-40^{\circ}C$ 500mW A $70^{\circ}C$ 750mW
Terminal	Terminal de tornillo

Fuente: Elaboración propia características técnicas de modulo NI 9263.

CAPÍTULO 2: DISEÑO Y DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

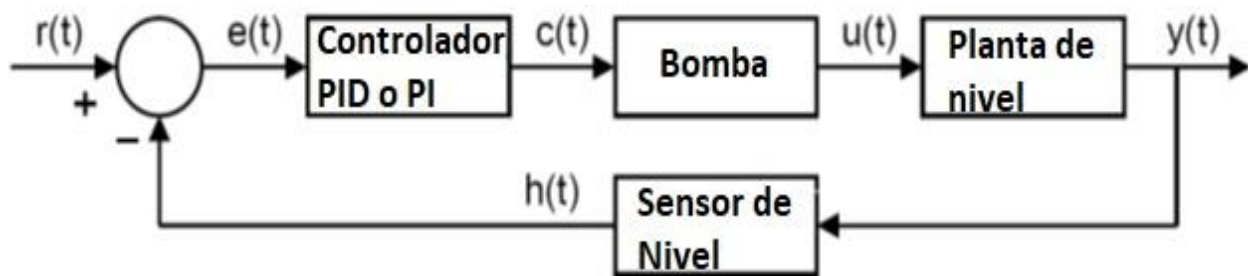
2. DISEÑO Y DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

Al conocer en detalle los instrumentos y cualidades técnicas de los sensores y actuador de la planta a desarrollar, es posible realizar el diseño e implementación técnica del control, utilizando como solución las interfaces, tarjetas y software de programación ya mencionados en el capítulo 1.

En este capítulo se contempla el desarrollo del proyecto, sus conexiones físicas como circuitos acopladores e interfaces de comunicación, los requerimientos de software, esquemas de control, modelamiento del sistema de la planta, además del cálculo de las ganancias, como la programación y diseño del controlador con su visualización.

2.1. ESQUEMA DE CONTROL

Al tener el estudio y los conocimientos básicos del desarrollo de la planta, es importante tener definido los elementos básicos del esquema de control, donde se definirán el tipo de controlador a utilizar, su actuador, la planta y la comparación de la referencia con el elemento medido, como se visualiza en la Figura 2-1, donde se determinan estos conceptos.



Fuente: Elaboración propia sistema de control de la planta de nivel.

Figura 2-1. Esquema de control de la planta a controlar.

Los conceptos que se muestran en la Figura 2-1, corresponde a la visualización más sencilla del objetivo de control a cumplir, donde se debe detallar o definir lo siguiente:

- **Controlador:** Determina la acción de control que debe aplicarse para modificar la variable de control en base a la salida deseada. Su acción depende del valor de entrada y la respuesta obtenida. El controlador que se aplica en el proyecto inicialmente es un PID, ya que al inicio del estudio del proyecto es el controlador más común cuando no se tiene mayor conocimiento del proceso. PID significa Proporcional, Integral y Derivativo: El valor Proporcional depende del error actual, el Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso el valor del nivel que es necesario controlar.
- **Actuador:** Corresponde al mecanismo que ejecuta la acción de control calculada por el controlador y que modifica la variable de control. Para este proyecto, el actuador es la bomba centrífuga, ya que tiene un rango de trabajo amplio, donde a menos voltaje de entrada significa menor presión o flujo, pudiendo alterar la variable de control.
- **Planta:** En este bloque se encuentra el sistema o proceso que se desea controlar, que sería la planta de nivel ya mencionada en el capítulo anterior.
- **Sensor:** Es el que permite medir y conocer la variable de nivel que se encuentra en la planta, en esta etapa, el sensor es de la marca Keller serie 26Y. Para ello es necesario utilizar la tarjeta adquisidora ya mencionada para la obtención de los datos a tiempo real.

2.2. CONEXIONES FÍSICAS

Como es un sistema de control de lazo cerrado, es necesario tener en cuenta las conexiones físicas a implementar, ya que serían permanentes, donde al poner en marcha el proceso, no debe existir ningún tipo de intervención manual a las conexiones o error al identificar las variables del proceso.

Para eso es necesario utilizar el tablero de energía y señal, en conjunto con la fuente de poder variable.

Para este proyecto se utilizarán todos los instrumentos de la planta, a excepción de la válvula proporcional y el flujómetro Arkon, ya que la válvula no cumple un objetivo de control y tiene un tiempo de respuesta lento, para el caso del flujómetro, de los módulos incorporados en la tarjeta adquisidora, no hay módulos disponibles en la Sede, para la comunicación “modbus” que usa el flujómetro. Por lo tanto, la fuente de poder solo alimentará de forma directa a 24 VDC los sensores de nivel y presión.

Para la lectura de la presión es necesario colocar en paralelo una resistencia de 270 ohms con la finalidad de obtener un voltaje entre los 1,08 a 5,4 VDC que pueda leer la tarjeta adquisidora NI 9223, ya que solo es posible ingresar un dato al mismo tiempo respecto a la corriente en el módulo NI 9203.

En el caso del ingreso de datos desde el sensor de nivel al módulo NI 9203, no necesita de ningún circuito intermedio, ya que los valores de corriente del sensor son los mismos que la tarjeta puede leer.

A continuación, la Tabla 2-1, presenta las variables de salida de los sensores, el tipo y la dirección hacia la tarjeta adquisidora a utilizar.

Tabla 2-1. Variables de entrada a tarjeta adquisidora.

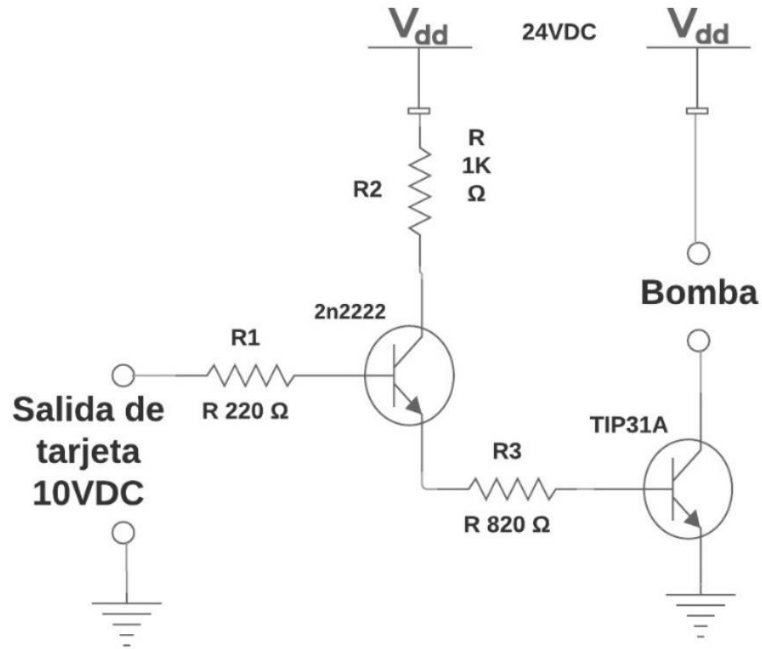
Variable del sensor	Tipo de comunicación de entrada	Módulo	Dirección
Nivel	4 a 20mA	NI 9203	AI 0 COM
Presión	0 a 10 V	NI 9223	AI 0+ AI 0-

Fuente: Elaboración propia tabla de variables de entrada a las tarjetas adquisidoras.

2.2.1 Circuito acoplador planta-tarjetas

El circuito acoplador es importante dentro de todo el proceso, ya que para obtener la planta de nivel operando de forma automática y física, es necesario el estudio de los valores

máximos que pueden operar las tarjetas adquisidoras para la correcta comunicación de la planta de procesos y el programa.



Fuente: Elaboración propia en página www.lucidchart.com.

Figura 2-2. Circuito acoplador de corriente y voltaje.

Para la salida de datos de la tarjeta adquisidora NI 9263, es necesario un circuito acondicionador que pueda tomar los rangos de 0 a 10 VDC máximos y convertirlos en 0 a 24 VDC con la finalidad de variar el voltaje del actuador, que corresponde a la bomba, y tener la respuesta deseada en el nivel del estanque 1.

Como se aprecia en la Figura 2-2, dicho circuito corresponde a la equivalencia de un “circuito Darlington” que cumple la finalidad de generar mayor corriente y amplificar el valor del voltaje, ya que la tarjeta no puede operar a más de 1 mA, por lo que el circuito permitirá llegar a corrientes cercanas a los 900 mA que exige el actuador a máximo voltaje de 24 VDC.

El transistor TIP 31 tiene un valor de β de 80, por lo que para obtener los valores de corriente y voltaje indicados anteriormente, la ecuación es:

$$I_b = \frac{900 \text{ mA}}{80} = 11.25 \text{ mA}$$

$$R_3 = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{11.25 \text{ mA}} = 826,66 \Omega \approx 820 \Omega$$

Los valores de R1 y R2 visualizados en la Figura 2-2, son de seguridad del transistor 2n2222 y para que pueda operar entre corte y saturación. En el caso de los valores de voltaje de “Vdd” son alimentados desde la fuente de poder, que de forma paralela, energiza los sensores de la planta.

La Tabla2-2, muestra el resumen de conectividad de la tarjeta de salida para la comunicación con el actuador.

Tabla 2-2. Variables de salida de tarjeta adquisidora.

Variable de entrada	Tipo de comunicación de salida	Módulo	Dirección
Bomba	0 a 10 V	NI 9263	AO 0 COM

Fuente: Elaboración propia tabla de variables de salida de la tarjeta adquisidora.

2.3. REQUERIMINETO DE SOFTWARE

Al momento de la implementación física se procede a realizar las etapas de medición y obtención de datos para llegar al objetivo final correspondiente al control automatizado del nivel de un estanque. Para llevar a cabo dichas mediciones, es necesario el estudio y aplicación de softwares, algunos ya comentados en el capítulo anterior como la utilización de LabVIEW, pero otros como Matlab que serán herramientas que sirven para todo el cálculo y modelos matemáticos que serán importantes para la obtención del controlador.

Por eso es importante la correcta instalación de los drivers que pueden ser necesarios además del programa base que entrega el fabricante inicialmente.

2.3.1 Controladores para LabVIEW

El programa de LabVIEW que se entrega inicialmente para instalar, en el caso de este proyecto la Universidad facilitó la versión 2017 de 32bits que trae los componentes básicos para desarrollo de simulaciones de controladores, dejando a un lado poder implementar algún programa que pueda comunicar con entradas o salidas de datos, además de no tener algún bloque que incorpore o facilite el diseño de controladores.

Para ello fue necesario ingresar a la página del proveedor “National Instrument”, para consultar y descargar controladores de manera gratuitos como:

- PID and Fuzzy Logic Toolkit: Integra algoritmos de control P, PI, PD y PID en sus aplicaciones LabVIEW. Al combinar esta herramienta con hardware de adquisición de datos, es posible crear aplicaciones completas de control automatizado.
- NI-DAQmx: Es el único software para LabVIEW, que puede generar una única interfaz de programación para programar entradas y salidas analógicas y digitales y contadores en cientos de dispositivos de hardware de adquisición de datos (DAQ) multifuncional.
- Real-Time: Es necesario para crear e implementar aplicaciones de sistemas distribuidos y en tiempo real para pruebas, monitoreo y control. También para garantizar la fiabilidad y temporización precisa en su sistema autónomo.
- DSC: Registro de datos y control de supervisión (DSC) ayuda a desarrollar HMI / SCADA o aplicaciones de registro de datos de alto conteo de canales.

Lo importante de todos estos controladores es la instalación de la versión acorde al año de LabVIEW, el fabricante facilita un recuadro con las versiones contra los años de cada LabVIEW con la finalidad de poder instalar un software que no genere conflicto o incorrecto funcionamiento, al momento de realizar la programación en bloques.

2.3.2 Matlab y su aplicación

Ya al verificar el funcionamiento de LabVIEW, solo es necesario la instalación del último software con el nombre de Matlab.

Matlab es una herramienta matemática que ofrece un entorno de desarrollo integrado, con un lenguaje de programación propio llamado, lenguaje M. En el caso de este proyecto, se utiliza para la representación de datos y funciones, junto con los comandos que trae para obtener el modelo matemático de la planta y el desarrollo del controlador.

Los comandos que serán utilizados para el desarrollo del controlador son:

- **Ident:** Corresponde al comando de identificación de sistemas, tiene como objetivo que el modelo identificado reproduzca con suficiente exactitud el comportamiento del proceso. Con este comando es posible obtener la función de transferencia de la planta y cómo se comporta.
- **Rltool:** Permite diseñar un controlador de entrada y salida única (SISO) usando lugar geométrico de raíces. Para eso es necesario especificar los parámetros del compensador de realimentación: polos, ceros y ganancia. Cambiando los parámetros del compensador, cambia el lugar geométrico de raíces y con ello es posible obtener el diseño del control que se desea.

2.4. DESARROLLO Y OBTENCIÓN DEL MODELO DEL SISTEMA

Al momento de tener previamente identificados los hardware y software necesarios para el desarrollo del control en el proyecto, uno de los principales factores para poder realizar un controlador deseado y operativo, además de conocer las capacidades técnicas de cada instrumento instalado, es la obtención del modelo de la planta, teniendo los coeficientes de la función de transferencia y el comportamiento de esta.

2.4.1 Obtención de datos experimentales

Para la obtención de datos experimentales y con ello obtener la identificación del sistema, es importante tener configurado LabVIEW, con la tarjeta adquisidora USB cDAQ-9174, con los controladores ya mencionados.

Para esta etapa solo es necesario tener ingresado en la programación del LabVIEW dos bloques que corresponden a la Figura 1-5, del capítulo anterior:

- DAQ Assistant: Realiza la medición de entrada o salidas, donde se obtendrá el valor de corriente en tiempo real del sensor de nivel.
- Waveform Chart: Como su nombre lo indica, graficará la forma de onda en el tiempo de los valores obtenidos.

Teniendo estos dos bloques configurados, es necesario escalar la corriente obtenida en miliampere a litros, que es el valor de nivel que se desea controlar, con la finalidad de tener una respuesta a la salida del modelo de la planta en litros. Para obtener los valores escalados, se genera una tabla como se presenta en la Tabla 2-3, con los valores equivalentes que se obtienen en el sensor a una cantidad “x” en litros.

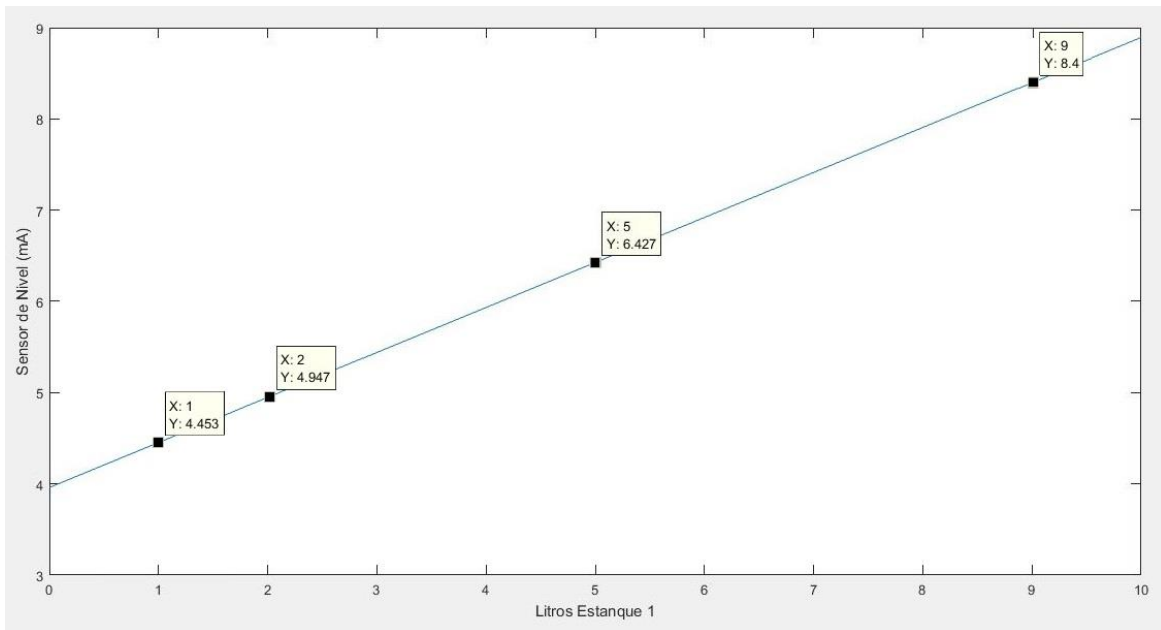
Tabla 2-3. Equivalencia de litros a corriente en sensor.

Litros en Estanque 1	Sensor de Nivel (mA)
1	4,45
2	4,94
5	6,42
9	8,40

Fuente: Elaboración propia basado en datos experimentales del proyecto.

Al graficar estos puntos de la Tabla 2-3, es posible identificar el comportamiento lineal que tiene el sensor de nivel con la cantidad de litros ingresados en el estanque 1.

A continuación, la Figura 2-3, se aprecia la gráfica en respuesta a los datos de corriente obtenidos por el sensor, contra el valor equivalente en litros.



Fuente: Elaboración propia por Matlab basado en datos experimentales del proyecto.

Figura 2-3. Gráfica lineal de Sensor de nivel vs Litros.

Con los datos obtenidos se desarrolla la siguiente ecuación lineal, donde “y” es el valor de la corriente en mA y “x” es el valor en litros:

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{6,42 - 4,94}{5 - 2} = \frac{37}{75} \approx 0,49\bar{3}$$

$$b = y - mx = 8,4 - \frac{37}{75} * 9$$

$$b = \frac{99}{25} = 3,96$$

Por conclusión la respuesta escalada corresponde a la ecuación:

$$y = \frac{37}{75}x + \frac{99}{25}$$

2.4.2 Obtención del modelo de la planta

Con el valor de salida escalado en litros, se procede a determinar la función de transferencia de la planta.

Para obtener la función de transferencia en forma fenomenológica, es necesario contar con la respuesta en el tiempo frente a un cambio brusco en la entrada, es decir, tener una respuesta a escalón del proceso que correspondería en aplicar un valor escalón de voltaje al actuador para obtener una respuesta en el nivel del estanque 1 que se requiere controlar. El valor escalón corresponde a 10 VDC con la finalidad de obtener un resultado sin generar un rebalse en estanque y utilizando el mínimo rendimiento ideal que tolera la bomba.

Para obtener una función de transferencia de forma correcta o representativa a la respuesta de la planta, se tiene que aplicar dos entradas de tipo escalón, una para generar el modelo y la segunda para validar el modelo de la planta. Estos valores obtenidos en la gráfica del bloque “Waveform Chart” son exportados a un libro Excel donde se generan dos columnas, una corresponde al tiempo por dato obtenido y la segunda al valor en litros obtenido en el tiempo. De igual forma se exporta una tercera columna correspondiente al escalón aplicado en los intervalos de tiempos. La cantidad obtenida es de 4076 datos con un tiempo de 0,206 segundos para cada dato, por lo tanto el tiempo total del desarrollo de dicha actividad fue de aproximadamente 14 minutos. Para efectos prácticos la Tabla 2-4. no muestra los 4076 datos, sino 6 datos cada 10 segundos como ejemplo de la visualización de la tabla.

Tabla 2-4. Ejemplo de los datos obtenidos al aplicar un escalón de voltaje.

Tiempo en segundos	Salida en litros	Escalón en volt
0	0,71369	0
10	1,05535	10
20	1,58113	10
30	2,09495	10
40	2,62406	10
50	2,83145	10

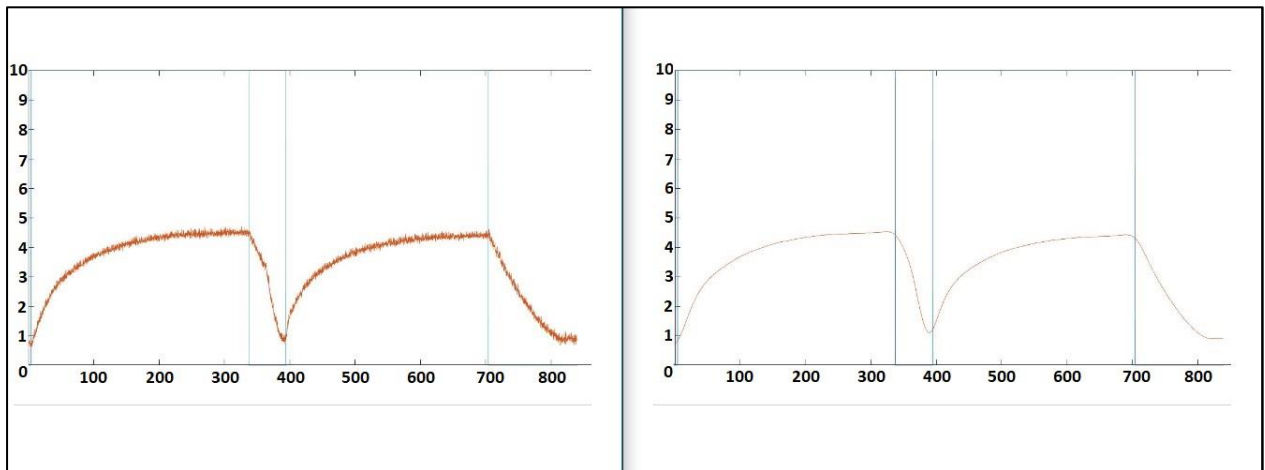
Fuente: Elaboración propia basado en datos exportados desde LabVIEW a libro Excel.

2.4.3 Obtención de función de transferencia a través de Matlab

Al momento de realizar y exportar los datos obtenidos en LabVIEW en un libro Excel, se procede a utilizar el software Matlab.

Lo primero que se debe realizar es la creación de las variables de tiempo, entrada y salida, en base a los datos obtenidos en Excel, donde el tiempo corresponde a los intervalos entre un dato y otro, entrada es el escalón aplicado a la planta y la salida es la respuesta escalón del sensor de nivel escalado en litros.

Teniendo las variables identificadas se puede graficar para verificar los datos ingresados en cada variable, como se aprecian en la Figura 2-4.



Fuente: Elaboración propia, Imagen obtenida en Matlab.

Figura 2-4. Gráfico por de datos obtenidos y datos filtrados por Matlab.

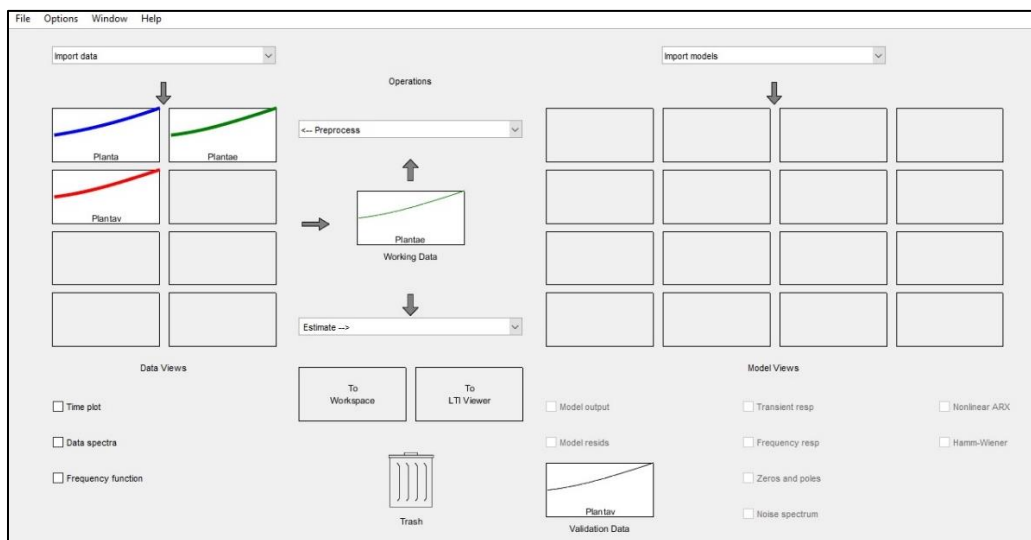
Como se aprecia en la Figura 2-4, los datos obtenidos en gráfico de la izquierda presentan mucho ruido, por lo que se recomienda aplicar un filtro pasa bajo de segundo orden para eliminar el ruido, utilizando el siguiente comando en Matlab:

```
[b,a]=butter(n,Wn,ftype)
[b,a]=butter(2,63/(2*pi/0.001),'low')
Y=filtfilt(b,a, y)
```

El primer comando indica el diseño de un pasa bajo indicado por la función “low”, con una frecuencia de corte “Wn” correspondiente a 10mHz aproximadamente y con “n” indicando el número de orden del filtro que en este caso es 2. Por último “b,a” son los coeficientes de la función de transferencia del filtro, devueltos como vectores de fila de longitud “n + 1”.

El segundo comando realiza el filtrado digital de fase cero, es decir que la fase no es modificada, procesando los datos de entrada “y” (datos de la respuesta escalón), tanto en sentido directo como inverso. Después de filtrar los datos en la dirección directa, “filtfilt” invierte la secuencia filtrada y la ejecuta nuevamente a través del filtro, entregando la señal “Y” que corresponde al lado derecho de la Figura 2-4.

Con los datos filtrados, se procede a obtener la función de transferencia de la planta, considerando que la respuesta del sistema corresponde a uno de primer orden, por el comportamiento de la curva obtenida de la respuesta escalón, por lo cual, se aplica el comando “ident”, que corresponde al comando de identificación de sistemas. Como se muestra en el Figura 2-5, se importa la información en el dominio del tiempo, ingresando los valores de entrada, salida y el tiempo de muestreo identificadas anteriormente, otorgando un nombre al tipo de información resultante, equivalente a la imagen de color azul que se aprecia en la Figura 2-5.



Fuente: Matlab, Imagen obtenida por la función ident.

Figura 2-5. Ventana al ingresar al comando ident.

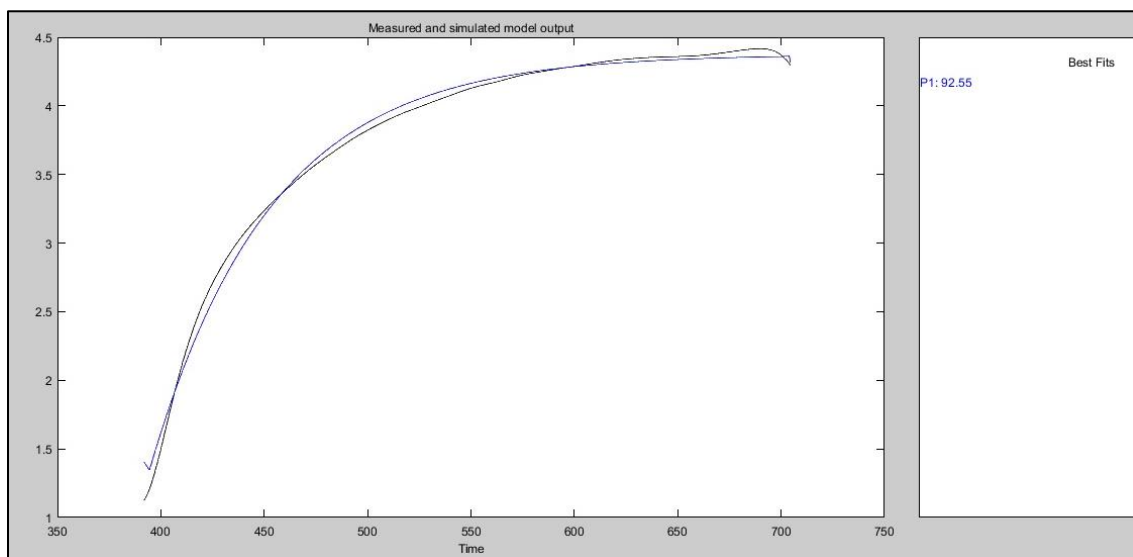
Luego de la asignar las variables ya identificadas por Matlab, en la pestaña de operaciones, se selecciona además dos rangos correspondientes a los escalones aplicados, el primer rango del gráfico permite obtener el modelo y el segundo la validación del modelo, obteniendo dichos resultados representados con el nombre de “Plantae y Plantav” con los colores verde y rojo respectivamente, se coloca “Plantae” en “Working Data” y “Plantav” en “Validation Data”, con ello es posible realizar en la pestaña Estimar, modelo de procesos, la obtención de la función de transferencia de la planta, que corresponde a:

$$G(s) = \frac{K}{(1 + T_i * s)}$$

Donde:

- $G(s)$ corresponde el modelo de la planta o función de transferencia.
- $K=0,43762$
- $T_i=58,4437$

También es posible al graficar el modelo del proceso, obtener el porcentaje de asertividad en el cálculo de la función de transferencia como se aprecia en la Figura 2-6.



Fuente: Matlab, gráfico del modelo del proceso.

Figura 2-6. Gráfica del modelo del proceso y su asertividad.

Según lo obtenido en la Figura 2-6, existe un 92,55% de asertividad en el modelo, por lo tanto, se puede concluir que el resultado obtenido es efectivamente una función de transferencia para el sistema de primer que fue desarrollado, a través de un conjunto de puntos de actuación o entrada y de salida o respuesta escalón.

2.5. DESARROLLO Y OBTENCIÓN DEL CONTROLADOR

Obtenidos los valores del modelo de la planta, es posible realizar la sintonización y obtención del controlador deseado, idealmente se desarrollará un controlador de características PID, donde se detallará a continuación el método utilizado con el nombre de lugar geométricos de raíces:

2.5.1 Lugar geométrico de raíces

Para realizar un controlador PID deseado es utilizando el lugar geométrico de raíces que ofrece Matlab, con el comando rltool aplicado a la función de transferencia, garantiza asignar requerimientos de diseño para obtener el controlador ideal o deseado para quien lo genere, siempre y cuando dichos rangos se encuentren al interior de los parámetros que el lugar geométrico de raíces va proponiendo en base a los datos experimentales que se van aplicando. Dichos valores son, por ejemplo:

- Tiempo de respuesta.
- Porcentaje de overshoot.
- Tiempo de asentamiento de la señal.

Para el diseño correspondiente a un control PID es necesario agregar como parámetros, dos ceros reales y un integrador, que corresponde a la ecuación característica de un PID.

En Matlab al agregar los ceros reales se expresan en el numerador de la ecuación mientras que el integrador se agrega en el denominador, estos parámetros están expresados de la siguiente forma:

- $(s+1)(s+1)$ son los dos ceros reales.
- s corresponde al integrador.

La expresión matemática al momento de desarrollar la ecuación correspondería a la siguiente función:

$$PID = Kp * \left(1 + \frac{1}{Ti * s} + Td * s\right)$$

Donde:

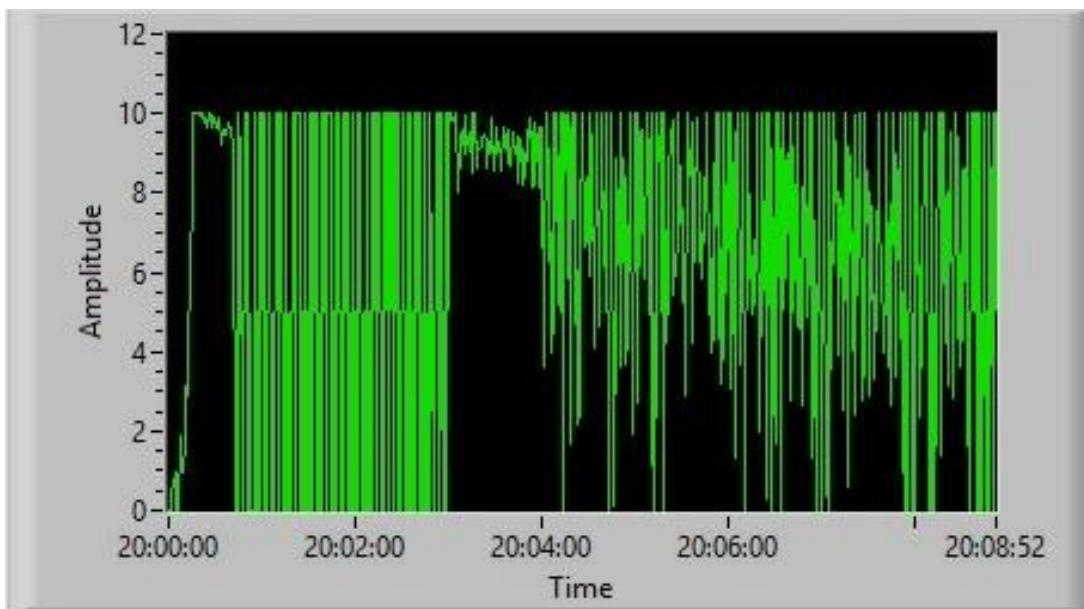
- $Kp = 3,271$ Es la ganancia proporcional.
- $Ti = 32,226$ Es la parte integrativa.
- $Td = 0,11$ Corresponde a la parte derivativa.

Además de considerar como condición el porcentaje de overshoot y el tiempo de estabilización, estas condiciones son agregadas de forma experimental dependiendo del tiempo de respuesta que se desea y el comportamiento final del control, para esta situación los valores incorporados son:

- Overshoot: Menor o igual a un 6%.
- Tiempo de estabilización: Menor o igual a 200 S.

Esto significa que si se desea controlar 5 litros en el estanque, no sobrepasará los 5,3 litros al controlar y tardará un tiempo no superior a los 3 min y 20 s en quedar en el valor deseado

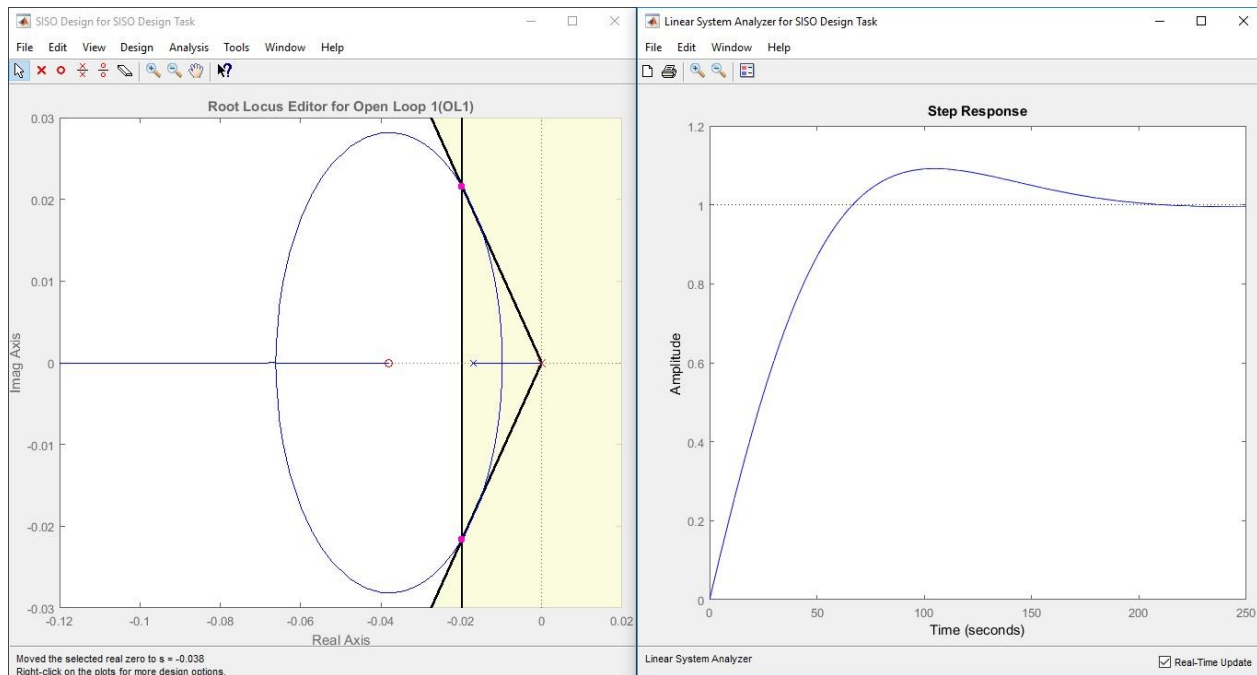
de forma estable. Al ingresar dichas condiciones y calibrar el controlador, con los valores de T_i , K_p y T_d , se aprecia saturación en la forma de onda, como se aprecia en la Figura 2-7, obteniendo un control inestable y sin poder modificar, eso sucede ya que la parte derivativa (D) de los controladores PID, son para plantas que tienen errores constantes en el tiempo, tienen retardos con respuestas lentas y su principal función es reducir las oscilaciones y sobrepasos causados por perturbaciones en el proceso, además de ser sensible al ruido. Dicha característica no aplicaría en la respuesta de la planta en la Figura 2-6, donde no presenta retardos y no tiene errores que continúen en el tiempo, pero si ruido en su señal como se aprecia en la Figura 2-4.



Fuente: LabVIEW, gráfico respuesta de un controlador PID.

Figura 2-7. Señal de respuesta a un controlador PID.

Por consecuencia de lo anterior, se aplica el diseño PI, que es más recomendable para un sistema de primer orden, correspondiente a un control de nivel, para lo cual se aplica un integrador y un cero real, considerando las mismas condiciones de overshoot y de estabilización que en el PID, obteniendo el resultado correspondiente a la Figura 2-8.



Fuente: Matlab, Lugar geométrico de raíces y el comportamiento del controlador

Figura 2-8. Lugar geométrico de raíces y comportamiento del PI

Luego de la ubicación de los polos del lazo cerrado, cumpliendo con los requerimientos de diseño, se tiene que el controlador PI es:

$$C(s) = Kp * \left(\frac{1}{Ti * s} + 1 \right)$$

Donde:

- C(s) corresponde a la función de transferencia del Controlador PI
- Kp=2,938 Ganancia proporcional del controlador
- Ti=32,834 Tiempo integral del controlador expresados en segundos.

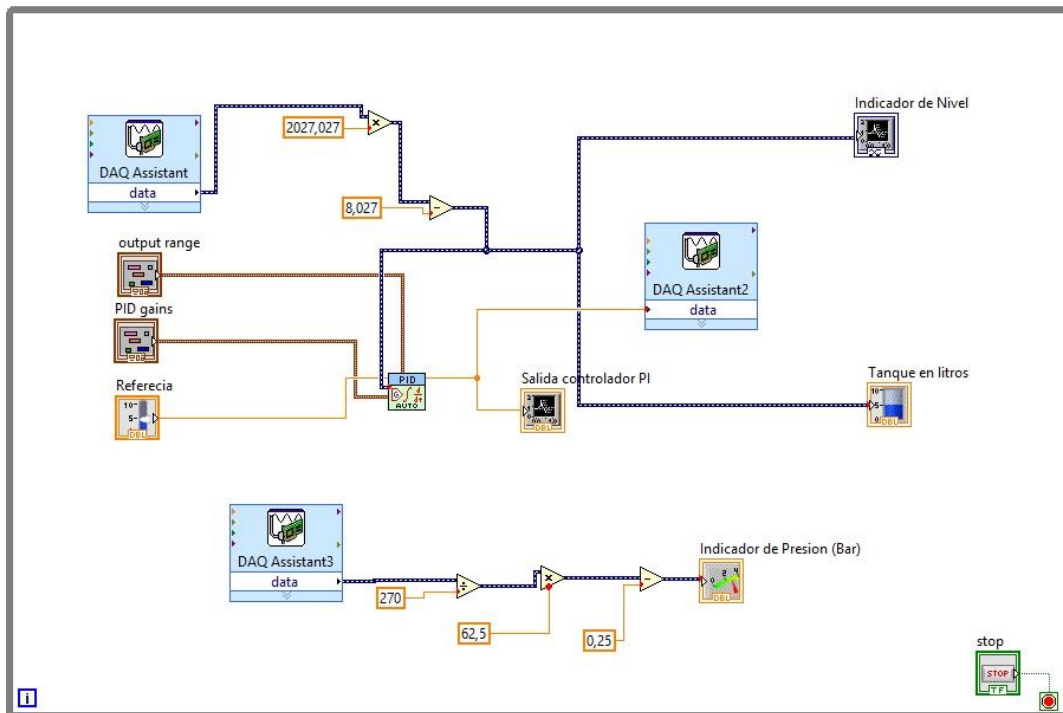
2.6. PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

El último paso para poder tener todo correctamente programado en los softwares, es la programación del control PI en el LabVIEW, como fue mencionado en el capítulo 1. La programación en este sistema es el paso más sencillo al interior del proyecto del control de nivel de la planta, ya que sólo es necesario la correcta utilización de los bloques de programación y los conocimientos respecto al funcionamiento de cada uno de ellos.

Lo que se aprecia en la Figura 2-9, corresponde a la programación final en LabVIEW en el diagrama en bloques donde se detallarán los siguientes bloques:

- DAQ Assistant: Corresponde la ingreso o salida de una señal dependiendo la dirección de la flecha que se encuentra al lado de "data". Este bloque está encargado de tener comunicación directa con el exterior.
- Bloque Matemático: Este bloque corresponde a las operaciones matemáticas, son los encargados de realizar cualquier función matemática indicada previamente, por ejemplo, la multiplicación y resta del dato ingresado para obtener el valor escalado de corriente a litros.
- Waveform Chart o tabla de forma de onda: Corresponde a los bloques que visualizan el comportamiento que tienen los datos a través del tiempo, expresados en una gráfica en el panel frontal. En el diagrama en bloques son los que tiene el dibujo de una forma de onda.
- PID.vi: Es el bloque que realiza todo el control del sistema, en este bloque es donde es necesario agregar los valores matemáticos obtenidos por el controlador PI, específicamente en el bloque "PID gains", donde se detallará el valor de K_p , T_i (en minutos) y T_d (en minutos). También es necesario colocar un dato que pueda ser variable al iniciar el programa y corresponde al "setpoint", que se aplica al bloque con nombre "Referencia". Además, es necesario colocar los valores máximos y mínimos de la salida del controlador, en el bloque "output range". Por último, existe el parámetro $dt(s)$ que especifica el tiempo de ciclo de bucle, o intervalo en segundos, al que se llama este PID.vi, este por defecto es de 1ms.

- Bloques de visualización numérica: Estos son los responsables de visualizar de forma más didáctica los rangos de salidas del sensor de presión expresados en bar, utilizando el bloque con representación de “Tacómetro” y el de nivel del estanque 1 con el bloque de “Tanque”.



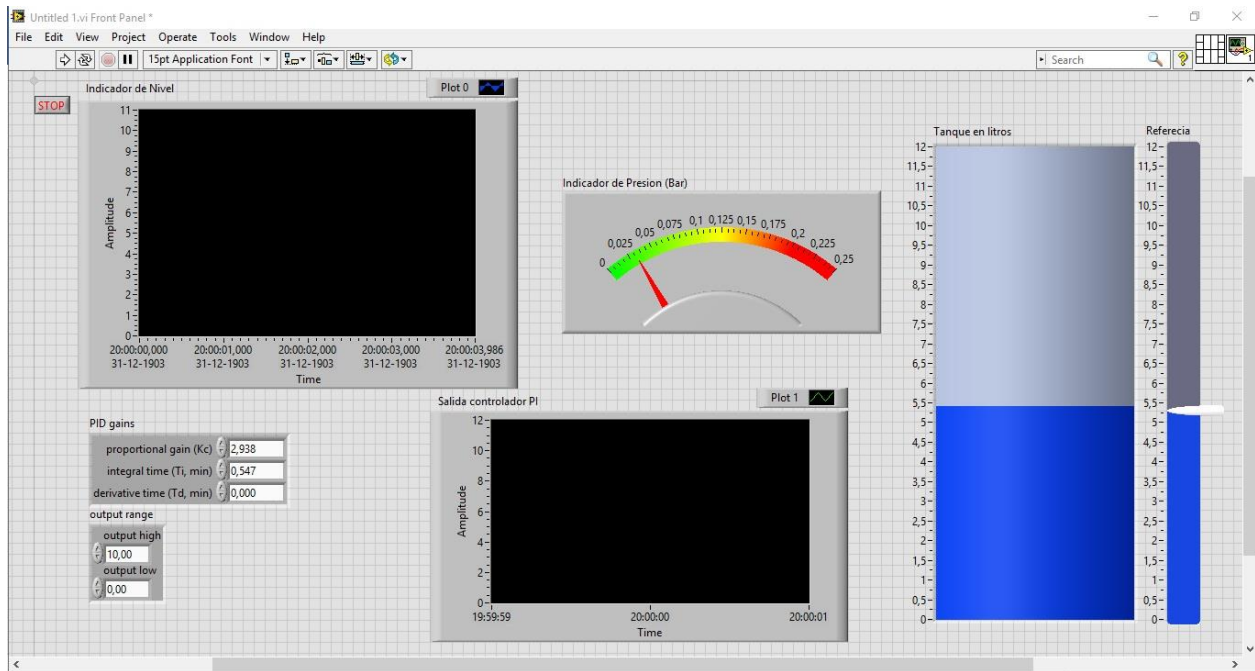
Fuente: LabVIEW, Programación del diagrama en bloques

Figura 2-9. Programación del Diagrama en bloques de LabVIEW.

Al tener todo correctamente unido como se muestra en el Figura 2-9, es posible conectar la salida de bloque “PID.vi” a un gráfico para obtener la curva de respuesta del controlador y también al bloque de salida “DAQ Assistant” que genera voltajes entre 0 a 10 VDC.

La visualización para quien quiera operar el programa cuando empiece a correr y poder visualizar las formas de ondas y datos de nivel y presión, es mediante el panel frontal como se aprecia en la Figura 2-10, donde es posible tener cierta interacción con el valor de “Referencia”

como también los datos de ganancias del controlador y señales de salida del controlador, aunque este último no es recomendable modificar.



Fuente: LabVIEW, panel frontal del programa.

Figura 2-10. Panel Frontal del programa de LabVIEW.

Con la Figura 2-10, es posible visualizar los valores obtenidos en los sensores y actuador y gracias al diagrama en bloques, corroborar el correcto control y poder modificar al criterio del operador. La finalidad del HMI es tener una visualización útil y procesable de los valores obtenidos en el proceso.

Con esto último, ya estaría el programa con el control realizado y solo quedaría obtener las conclusiones y resultados obtenidos al momento de encender y poner puesta en marcha el sistema para controlar.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y CONCLUSIONES OBTENIDOS

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES OBTENIDOS

En el presente capítulo se analizarán las respuestas obtenidas a la salida del controlador PI, se mostrarán varias pruebas respecto a interrupciones o perturbaciones externas al proceso normal de control, con la finalidad de visualizar el correcto control del sistema.

Adicionalmente se analizará el estudio de mejoras para la planta instalada en la Universidad, con la finalidad de determinar si es necesario alguna mejora continua, instrumento o aplicación que pueda ser de ayuda para futuros proyectos de investigación o mejoras que la misma Sede pueda gestionar.

3.1. RESULTADOS Y RESPUESTAS DEL CONTROLADOR PI

En el capítulo anterior, fue descrito paso a paso la forma de poder generar un controlador PI mediante los softwares LabVIEW y Matlab, pero dicha información fue mediante resultados y respuestas teóricas que el sistema entrega de forma ideal.

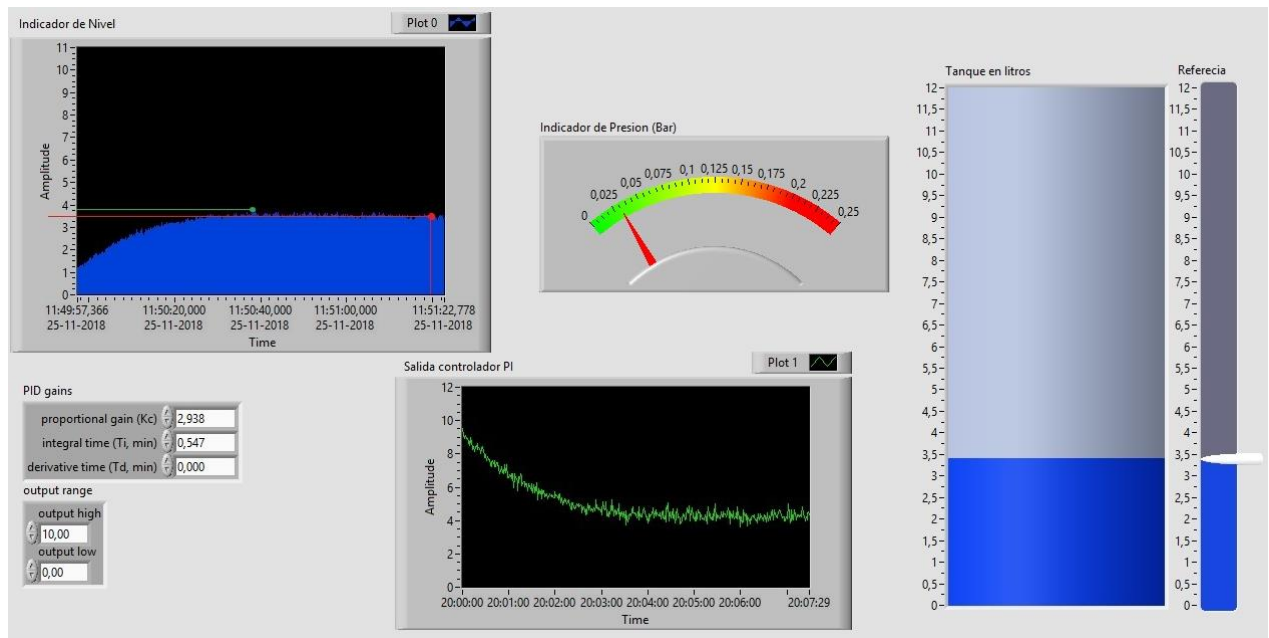
En este segmento se verificará que los datos calculados y obtenidos de forma teórica sean los mismos o similares en la práctica, al realizar la puesta en marcha del servicio.

3.1.1 Respuesta del controlador PI

De forma teórica en el capítulo 2 se determinó lo siguiente:

- Overshoot: $\leq 6\%$.
- Tiempo de asentamiento: ≤ 200 s.

En la Figura 3-1 se observa la respuesta a la salida del controlador que estaría interviniendo directamente al actuador y también se encuentra la respuesta del estanque, donde se compara con los datos ingresados de forma experimental.



Fuente: LabVIEW, panel frontal del programa, señales de entrada y salida.

Figura 3-1. Señales de respuesta del controlador PI.

Como se visualiza en la Figura 3-1, el “punto verde” muestra el valor máximo del estanque correspondiente a 3,7 litros, aproximadamente un 6% del valor de referencia de 3,5 litros. El “punto rojo”, visualiza en el gráfico de indicador de nivel, cuando los 3,5 litros requeridos llegan a un valor estable, dicho tiempo corresponde a 2 minutos aproximadamente.

Dado esos valores se puede concluir que:

- El controlador PI está funcionando, el cual regula el valor del estanque al valor de referencia, en esta situación de 1 a 3,5 litros en un tiempo menor a 2 minutos.
- Los requerimientos generados para el controlador PI se pueden verificar al medir cada valor entregado en los gráficos, como es el overshoot y el tiempo de asentamiento.

Por otro lado, se observa el comportamiento que tiene el controlador con el actuador. Como el valor inicial de la planta era de 1 litro, el inicio del control fue saturar el voltaje hacia el actuador, entregando 10 VDC, que equivalen a 24VDC a la salida del circuito acoplador, para luego

a través del tiempo, quedar a un valor estable de 4,25 VDC correspondiente a 10,2 VDC, que sería el voltaje suficiente para mantener un valor estable de 3,5 litros.

A continuación, se encuentra la Tabla 3-1, que realiza la equivalencia del voltaje que genera la salida del controlador o tarjeta NI 9263, contra, el valor que se ingresa a la Bomba o la salida del circuito acoplador.

Tabla 3-1. Equivalencia de voltaje entre controlador y actuador

Valor de salida del controlador (VDC)	Valor de ingreso al actuador (VDC)
2	4,48
4	9,6
6	14,4
8	19,2
10	24

Fuente: LabVIEW, panel frontal del programa, señales de entrada y salida.

Por último, respecto al ruido que se puede visualizar en las gráficas de la Figura 3-1, se causa ya que aunque el sensor de nivel Keller 26Y es de muy alta precisión y estabilidad, este es a largo plazo y para uso industrial donde el rango que puede llegar a medir es hasta 10bar al interior de un estanque, como estos estanques son pequeños y de uso experimental, el margen de error al sensor es mucho mayor.

Adicionalmente el sensor de nivel se encuentra a centímetros del ingreso del fluido que entrega el actuador para llenar el estanque, por lo que la presión que ingresa al estanque también afectará a la medición final que obtiene dicho sensor.

Las soluciones que la UTFSM o el alumnado puede realizar para mejorar la medición o la tasa de error que se visualiza es:

- Alejar el sensor Keller 26Y de la entrada el estanque 1 para que la presión que ingresa no influya en lo que está obteniendo a tiempo real.

- Dejar de forma fija el sensor para que el movimiento del líquido al interior del estanque no afecte lo medido.
- No modificar la posición del sensor, pero agregar a la entrada de las tarjetas adquisidoras un circuito acoplador que trabaje como filtro de las señales o frecuencias altas que genera, como lo que se realizó de forma programada en el capítulo 1 para obtener el modelo de la planta.
- Dejar el sistema igual, ya que, aunque afecte o altere con un rango de error el sistema, el control funciona perfectamente y no altera en su funcionamiento en el proceso.

3.1.2 Respuesta de presión en la planta de nivel

Otro valor importante que recalcar en la Figura 3-1, es el valor de presión presente en el circuito entre la bomba y el ingreso al estanque 1, al momento de estar estable el sistema la presión presente en la planta es de 31,25 mbar aproximadamente.

Para obtener el valor de presión, fue necesario realizar una conversión de corriente a bar, además es necesario tener en cuenta el siguiente dato:

El rango de presión es de 0 a 1 bar, por conclusión, a 4 mA se obtendrá un valor cercano a 0 bar y a los 20 mA se obtendrá el valor máximo de 1 bar.

Utilizando la ecuación de la recta se midió un valor “x” de corriente correspondiente a 5,01 mA desde el sensor de presión y con ello se realizó la siguiente ecuación, donde “y” es el valor de la presión:

$$y = mx + b$$

$$\text{Presión actual de la planta} = y = \frac{1}{16}x - \frac{1}{4} = 0,0631 \text{ bar o } 63,12 \text{ mbar}$$

El valor calculado correspondió a 63,12 mbar aproximadamente.

Para tener una idea de rangos de presión en el cual trabaja la bomba hacia el estanque 1, se diseñó la Tabla 3-2, donde se ve la equivalencia del trabajo de la bomba por voltaje contra los valores de presión en bar, corriente y los litros en el estanque en ese momento.

Tabla 3-2. Valores experimentales en sensor de presión.

Litros	Voltaje en Bomba	Presión en mA	Presión en mbar
1	0 VDC	4,39	24,37
2	12 VDC	5,01	63,12
5	12 VDC	5,06	66,25
9	24 VDC	6,80	175

Fuente: Elaboración propia, datos experimentales de sensor de presión.

Por conclusión, la planta de nivel sin perturbaciones externas trabaja entre los rangos de 24.37 a 175 mbar y también, que mayor nivel en el estanque o a mayor voltaje actuando en la bomba, mayor será la presión que circule por la planta hacia el estanque 1.

3.2. RESUESTA A LAS PERTURBACIONES EXTERNAS

Si bien es importante el hecho de que el sistema se encuentre controlado, una planta de procesos que se encuentre instalada en terreno, está expuesta a factores externos como el clima, desgaste de material, intervención de terceros, entre otros.

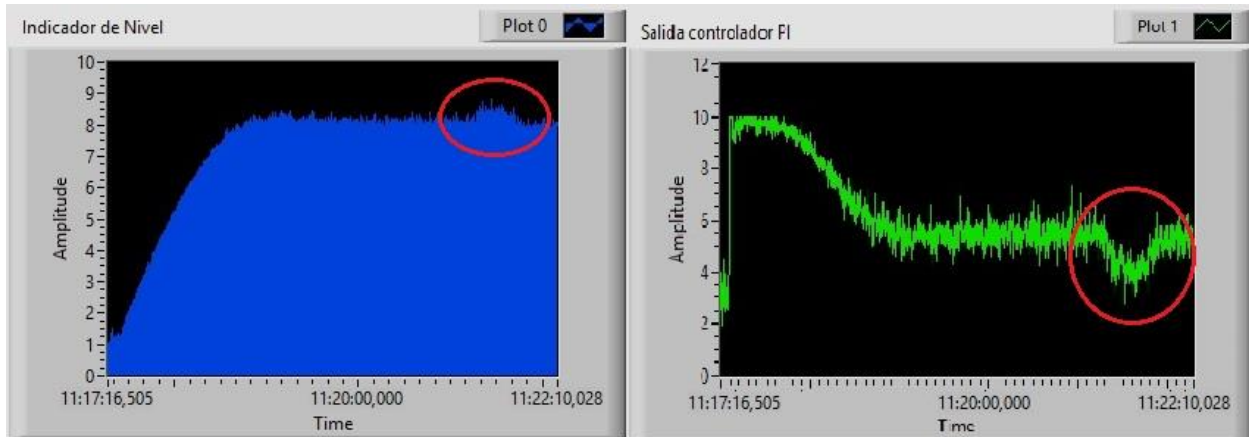
Muchas veces es normal que el sistema se esté controlando con perturbaciones o interrupciones constantemente, a que trabaje en un entorno ideal como es la situación de las plantas experimentales del laboratorio. Por lo mismo es muy importante, verificar si se realiza control al momento de generar interrupciones o perturbaciones externas a la planta de nivel, en este segmento se generarán una serie de perturbaciones para corroborar el correcto funcionamiento del control de nivel.

3.2.1 Agregando Líquido al estanque

El primer experimento que se realizó con la planta de nivel fue mediante un balde de 1 litro, se agregó de forma repentina al momento que el sistema se encontraba estable y

controlando. Como se aprecia en la Figura 3-2, se puede corroborar que el indicador de nivel notó un aumento exponencial de líquido de 8 a casi 9 L en un tiempo determinado.

Al mismo tiempo del cambio repentino de nivel, el controlador actuó sobre la bomba disminuyendo su voltaje de 5,5 a 4VDC, con la finalidad, que la cantidad de litros ingresados en el estanque, disminuyera y con ello, disminuir el nivel alterado.



Fuente: LabVIEW, graficas del indicador de nivel y salida del controlador.

Figura 3-2. Graficas de nivel y controlador al aumentar 1 litro de nivel.

3.2.2 Cerrando válvulas manuales

Es normal que en una planta de procesos existan válvulas que regulen el ingreso de un fluido hacia otros procesos, muchas veces por emergencia estas válvulas tienen que ser cerradas para controlar un proceso que se encuentra crítico o en alarma, empresas como ENAP, CODELCO, Gasmar, entre otros, trabajan con fluidos que pueden generar un alto impacto al no ser regulados de forma oportuna.

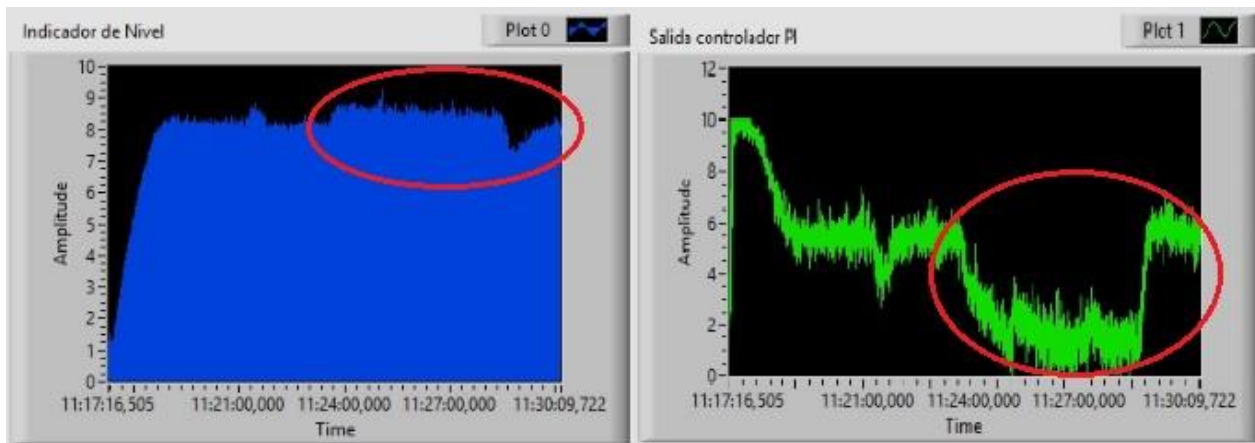
En esta parte experimental, se simularán estos procesos y qué sucede si en un proceso normal con las válvulas abiertas en un 100%, tienen que ser intervenidas por algún proceso externo.

3.2.2.1 Válvula 2 cerrada y válvula 1 al 100%

Hay que recordar que la válvula 2 es la que está sujeta de la salida del estanque 1 y al ingreso del estanque 2, esta válvula controla de forma manual el flujo que pasa de un estanque a otro.

Como se aprecia en la Figura 3-3, el comportamiento de la planta de nivel fue el siguiente:

- La salida del controlador PI tendió a 0 VDC, no alimentando voltaje al actuador.
- De 8 L que se encontraban en el estanque, este quedo con un máximo de 8,35 L aproximadamente.



Fuente: LabVIEW, graficas del indicador de nivel y salida del controlador

Figura 3-3. Graficas de nivel y controlador al cerrar válvula 2.

Al abrir completamente la válvula 2 a su estado “normal”, sucedió lo siguiente:

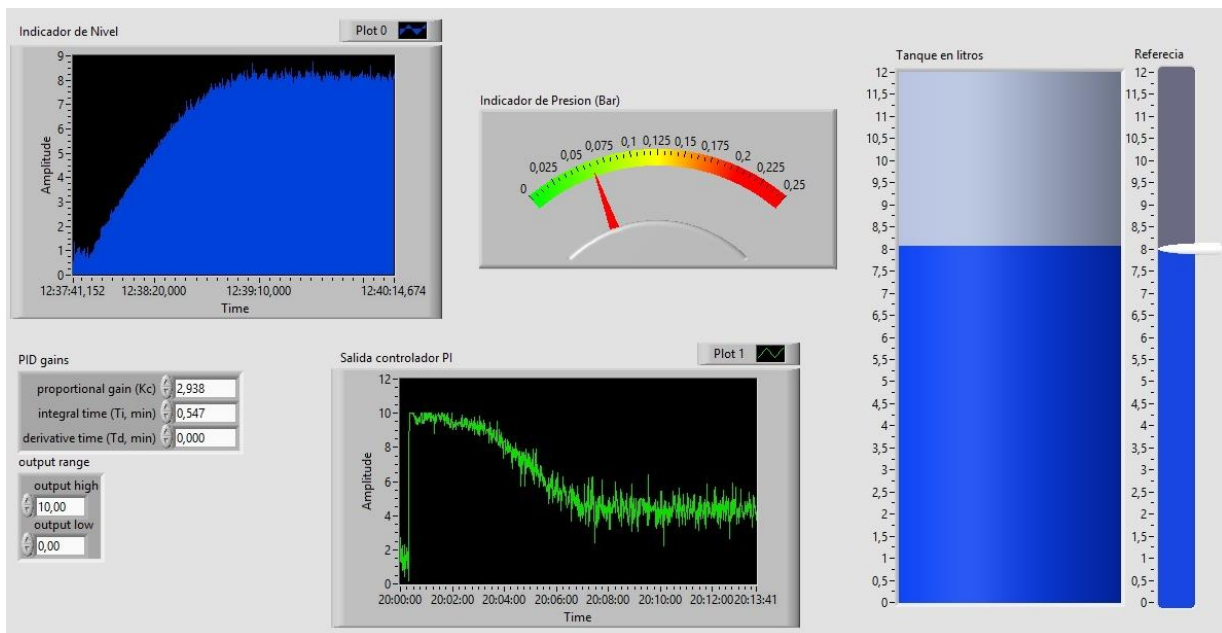
- El controlador no actuó instantáneo, dejó que se vaciara hasta los 7 L para luego volver a controlar el valor deseado de nivel de 8 L.
- Mientras que el tiempo de estabilización de la señal aproximadamente de 2 minutos y con un overshoot del casi 6% de la señal de referencia.

3.2.2.2 Válvula 2 al 50% y válvula 1 al 100%

Utilizando la misma válvula 2, esta vez fue cerrada de forma parcial un 50% del total, la finalidad es ver si los tiempos de estabilización continúan siendo los mismos en un contexto normal y si la presión que ejerce la bomba para llegar al nivel requerido varía.

Como se puede apreciar en la Figura 3-4, el comportamiento de la planta es prácticamente similar a un proceso en estado “normal”.

- Tiempo de estabilización: de 12:38 a 12:40 Hrs. aproximadamente correspondiente a 2 minutos
- Presión de llenado del estanque para lograr obtener el nivel de los 8 L fue 125 mbar.
- Presión a nivel estable en estanque de 63,12 mbar, como se observa en la Figura 3-4.
- Solo el nivel de actuación de la bomba es levemente inferior llegando a un valor de 4VDC a comparación del estado “normal” que eran de 5,5VDC.



Fuente: LabVIEW, comportamiento de datos en el panel frontal.

Figura 3-4. Datos entregados en el panel frontal con válvula 2 al 50%.

Por lo tanto, para errores o perturbaciones pequeñas al interior del sistema, aplicados en la válvula 2, la planta se comporta de manera similar a excepción del voltaje hacia el actuador que varía a menos de 2 volt de diferencia.

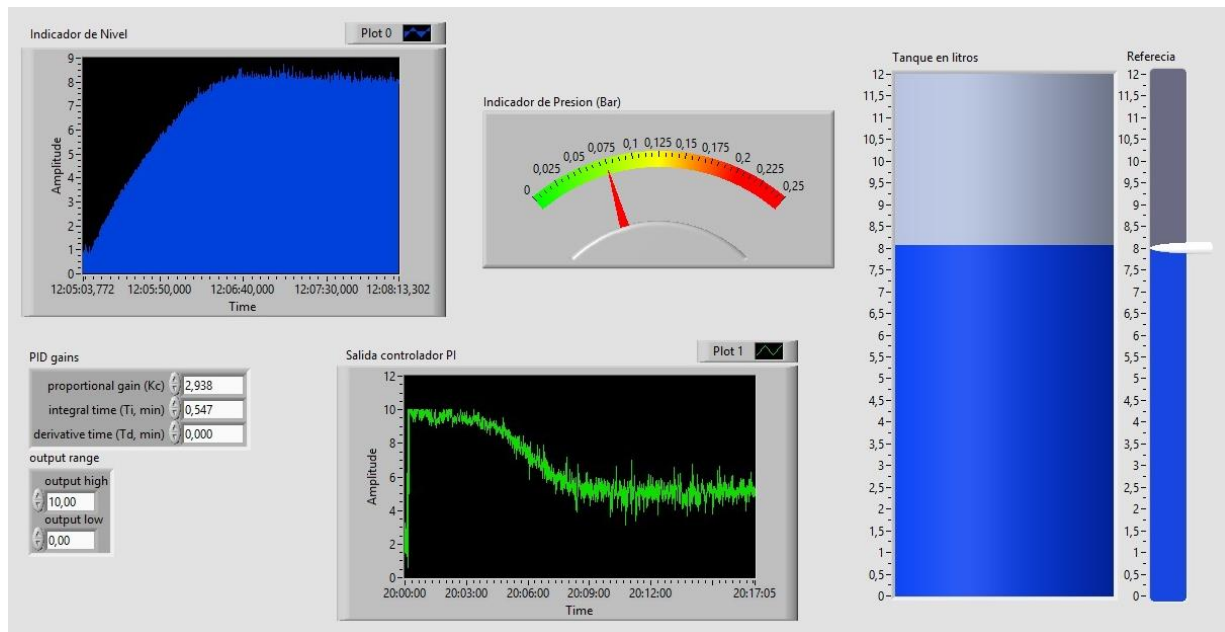
3.2.2.3 Válvula 1 al 66,6% y válvula 2 al 100%

Para determinar el porcentaje de apertura o cerrado de las válvulas se dejó completamente abierta esta, y de manera proporcional se fue contando la cantidad de vueltas que necesitaba para quedar completamente cerrada, la cantidad de vueltas para cerrar la válvula fueron "3" por lo tanto se puede concluir que: al girar una vuelta corresponde a 1/3 del cerrado total de la válvula y así sucesivamente.

Ya que no se percibe mayor cambio al utilizar la válvula 2 en otro estado que no sea cerrado, se procedió a realizar pruebas de control al cerrar un cierto porcentaje la válvula 1 correspondiente al ingreso del líquido al estanque que se desea controlar el nivel.

La primera prueba es dejando la válvula 1 a un 66,6% abierta (2/3 de vuelta) y como se muestra en la Figura 3-5, estos fueron los resultados:

- Válvula 2 100% abierta.
- Se logra al nivel deseado de 8 L.
- Tiempo aproximado de estabilización de 2 a 3 min aproximadamente.
- Presión de partida de 150 a 175 mbar.
- Valor de overshoot de 8,25 L.
- Presión para mantener los 8 L es de 75 mbar.
- Valor de voltaje hacia el actuador para mantener estable el sistema es de 5VDC.



Fuente: LabVIEW, comportamiento de datos en el panel frontal.

Figura 3-5. Datos entregados en el panel frontal con válvula 1 al 66,6%.

3.2.2.4 Válvula 1 al 33,3% y válvula 2 al 100%

La última prueba realizada con el cerrado de las válvulas manuales es generar mayor presión al ingreso del estanque 1, la cual dificultaría el control de nivel.

Se experimentó con dejar solo 33,3% de la válvula 1 abierta y la válvula 2 a un 100%, con la finalidad de generar una menor cantidad de líquido ingresando al estanque, pero la misma cantidad saliendo de él.

Los resultados fueron aplicados intentando llegar a una referencia de 8 litros y la respuesta fue la siguiente:

- La prueba fue realizada a las 12:19 hrs y el sistema se normalizo aproximadamente a las 12:23 hrs, siendo aproximadamente un tiempo de 4 minutos en llegar al valor de referencia deseado.
- La presión inicial para lograr el valor a controlar fue de 225 mbar aproximadamente.
- La presión para estabilizar o mantener el sistema controlado fue de 125 mbar.

- El voltaje que el controlador mandaba al actuador para mantener el sistema estable fue de aproximadamente 5,5 VDC.
- Valor de overshoot de 8,5 L máximo.

Por conclusión, es posible determinar que la válvula 1 influye mayormente en los valores generales de la planta de nivel, ya que al restringir la salida hacia el estanque y la válvula 2 continúa expulsando líquido de forma normal, el actuador debe trabajar con mayor voltaje y ejercer mayor presión para lograr el control deseado.

A continuación, la Tabla 3-3, representa una comparación correspondiente a la manipulación de las válvulas respecto al control de nivel y como este puede influir al control. Cabe señalar que con los distintos experimentos se logró controlar de forma efectiva el nivel.

Tabla 3-3. Registro comparativo de datos experimentales al manipular válvulas.

	Válvula 1 a 33,3%	Válvula 1 al 66,6%	Válvula 2 al 50%	Válvula 1 y 2 al 100%
Presión (mbar)	125	75	63,12	63,12
Nivel de referencia (Litros)	8	8	8	8
Tiempo de estabilización (min)	4	3	2	2,5

Fuente: Elaboración propia, Tabla comparativa de datos experimentales.

3.3. MEJORAS PARA LA PLANTA DE NIVEL

Ya analizado el comportamiento del sistema y su correcto control de nivel, falta poder realizar un análisis sobre lo que UTFSM podría continuar mejorando a la planta o qué herramientas poder ser aplicadas para optimizar los tiempos de desarrollo.

Actualmente este proyecto tuvo un tiempo de desarrollo al interior de la Universidad de 7 horas a la semana, más 10 horas semanales aplicadas a investigación y desarrollo del proyecto escrito, eso tiene que ser multiplicado por los 3 meses que fueron asignados para llevar a cabo este proyecto, llegando a un total de 204 horas.

Es posible aumentar las horas si existe la disponibilidad horaria para realizar los trabajos al interior de la Sede, con la finalidad de experimentar más con la planta de forma física, ya que uno de los principales problemas de lentitud al desarrollo del proyecto, son los softwares que no se encontraban con sus controladores necesarios para el desarrollo de la experiencia, pues la mayor parte del tiempo invertido fue la investigación de qué software son necesarios para el control. Por ejemplo, LabVIEW es una aplicación que sin controladores es básica en su uso y limitante, donde hubo reiteradas veces que realizar cambios o modificaciones a las instalaciones que se van aplicando al mismo software, al agregar algún controlador importante.

3.3.1 Desarrollo y uso del flujómetro

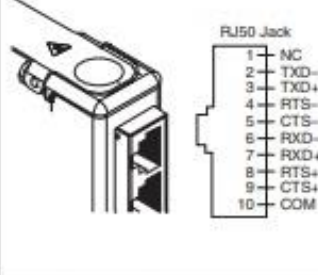
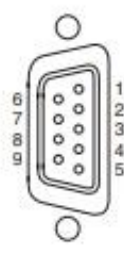
Se recuerda que en el capítulo 1 donde se mencionaron las partes de la planta de nivel, pues existe un elemento importante que no pudo ser utilizado al interior del proyecto, que corresponde al flujómetro Arkon.

No fue posible el desarrollo de la visualización del caudal en el sistema a controlar ya que el desarrollo del proyecto correspondía utilizar herramientas poco comunes al interior de la institución, para fines académicos y de investigación. El uso de LabVIEW implicaba usar tarjetas adquisidoras para la comunicación entre la planta y el software, módulos que no son compatibles para comunicación modbus.

Para la comunicación y visualización del flujómetro sería necesario el desarrollo de la incorporación del controlador PLC ya descrito y que actualmente se encuentra al interior de la Sede, este controlador tiene el módulo CM 1241 con la Interfaz RS422/485, por lo cual puede realizar la visualización y de ser necesario el control del caudal que tiene el flujómetro.

Para poder usar solo el controlador LabVIEW, sin la ayuda de otro controlador, sería necesario la incorporación de un nuevo módulo para la tarjeta adquisidora CompactDAQ USB

cDAQ-9174, este módulo serial de la Serie C añade puertos seriales RS232 o RS485/RS422 a sistemas CompactRIO. Los puertos seriales tienen acceso directamente desde el arreglo de compuertas programables en campo, para ofrecer flexibilidad al comunicarse con dispositivos seriales. Uno de los productos cotizados que la Universidad podría adquirir para usos de investigación o futuros proyectos con LabVIEW es el NI 9871, como se visualiza en la Figura 3-6.

Table 1. RS485/RS422 Port Pinout			Table 2. Pin Assignments for RS485/RS422 DB-9 Male Connector		
	RJ-50 Pin	Signal Name*	Connector	Pin	Signal
	1	No Connect		1	GND
	2	TXD-		2	CTS+
	3	TXD+		3	RTS+
	4	RTS-		4	RXD+
	5	CTS-		5	RXD-
	6	RXD-		6	CTS-
	7	RXD+		7	RTS-
	8	RTS+		8	TXD+
	9	CTS+		9	TXD-
	10	GND			

* These signals are shared by all four RJ-50 connectors on the NI 9871.

NI 9871 Operating Instructions ni.com

Fuente: datasheet NI 9871, configuración de puertos de modulo RS485/RS422.

Figura 3-6. Configuración de puertos de modulo NI 9871.

El valor que tiene esta tarjeta en particular es de \$618.800 pesos chilenos, equivalente a 22,5 UF por lo cual, si la UTFSM quisiera comprar una para cada planta de nivel, tendrían que comprar como mínimo 5 tarjetas y sin optar a reemplazar, gastando un valor no menor de \$3.094.000 o 112,35 UF. Además de comprar o hacer los cables de comunicación para modbus.

3.3.2 Desarrollo y uso la válvula proporcional

Por último, el otro elemento no usado al interior del proceso de control de nivel es la válvula proporcional 24VAC/VDC.

El inconveniente mayor es el tiempo de respuesta que tiene la válvula, la cual no tendría ningún comportamiento óptimo al interior de un control automático, además de la ubicación poco prácticas para su uso.

Como las válvulas proporcionales son de uso industrial y costosas para usos específicos, no es rentable para la Universidad invertir en una nueva para solo demostrar el cierre automático de una válvula o dejarla en un porcentaje de cierre. Por lo tanto, se propone la siguiente mejora:

- Cambiar la válvula proporcional de posición y ubicarla junto a la válvula 2, con la finalidad de tener un cerrado manual o proporcional al sistema con la finalidad de controlar o medir la cantidad de líquido saliendo por el estanque 1 sin intervenir de forma directa al control de nivel realizado.
- Reemplazar la válvula 2 con la válvula proporcional, con la finalidad de realizar control de alarma de cerrado. Sería cerrar el paso de del líquido del estanque 1 al estanque 2 y colocar condiciones de llenado para abrir de forma gradual la válvula proporcional.

Dejar y utilizar la válvula proporcional en el lugar actual, es peligroso ya que, si por error del sistema se cierra la válvula con el motor de la bomba funcionando, provocaría una alta presión en los conductos del circuito, provocando un deterioro o destrucción del sistema, teniendo en cuenta que la válvula es de respuesta lenta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el presente proyecto fue posible corroborar, reforzar y perfeccionar los conocimientos y contenidos de control automático e instrumentación aprendidos a lo largo de todo el proceso académico. Como también conocimientos de circuitos eléctricos y electrónica elemental.

Si bien no fue posible realizar un controlador PID a través de la herramienta LabVIEW, como se indicó en el título del proyecto, se pudo argumentar y mejorar el desarrollo del proyecto a un controlador más apto a las características que entregaba la planta de nivel, utilizando un control PI de manera eficaz y sin problemas, cumpliendo así el objetivo general del proyecto.

También se entregó recomendaciones respecto a los instrumentos no usados al interior de la planta de nivel, con la finalidad de poder dar opción a nuevas mejoras o compra de equipamiento para el uso total de la planta. Con eso, el proyecto genera un aporte a la institución, ya que se podrá dar uso investigativo y de mejora continua para alumnos al interior de las salas de clases o en proyectos con otro método de control, incorporando el uso de cada instrumento.

Este tipo de proyectos entregados por la Universidad Técnica Federico Santa María, hacen poder pensar y reflexionar respecto a problemas y eventualidades que se presentarán en los nuevos puestos de trabajo como ingeniero, aplicando dichos conocimientos, donde muchas veces habrá que intentar resolver problemas de control en una planta de procesos sin las herramientas adecuadas o utilizando equipamiento no aprendido al interior de las salas de clases.

BIBLIOGRAFÍA

Datasheet bomba Johnson_CM10P7-1_CM30P7-1 series [PDF] [Consulta: Agosto/2018 – Septiembre/2018].

Datasheet Sensor Keller 33x [PDF] [Consulta: Agosto/2018 – Septiembre/2018].

Datasheet Sensor Keller Serie 26Y [PDF] [Consulta: Agosto/2018 – Septiembre/2018].

Datasheet Válvula Proporcional B2 TR24 SR T 300 500 [PDF] [Consulta: Agosto/2018 – Septiembre/2018].

Manual Siemens simatic s7 1200 [En línea] [Consulta: Agosto/2018 – Septiembre/2018].

Manual Flujómetro Arkon MAG X2 [PDF] [Consulta: Agosto/2018 – Septiembre/2018].

Datasheet CompactDAQ USB cDAQ-9174 [En línea] [Consulta: Agosto/2018 – Octubre/2018].

Datasheet de Módulo NI 9203 [En línea] [Consulta: Septiembre/2018 – Octubre/2018].

Datasheet de Módulo NI 9223 [En línea] [Consulta: Septiembre/2018 – Octubre/2018].

Datasheet de Módulo NI 9263 [En línea] [Consulta: Septiembre/2018 – Octubre/2018].

Consultas de Controladores y controlador LabVIEW, <http://www.ni.com/es-cl.html> [En línea] [Consulta: Agosto/2018 – Noviembre/2018].

Datasheet de Módulo NI 9871 [En línea] [Consulta: Octubre/2018 – Noviembre/2018].