

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

CONTROL DE NIVEL EN UNA PLANTA DE PROCESO CON LABVIEW

Trabajo de Titulación para optar al Título de
TÉCNICO UNIVERSITARIO EN ELECTRÓNICA

Alumno:

María José Rojas Gómez

Profesor Guía:

Ing. Loreto Marín Carcey

Profesor Correferente:

Ing. Guelis Montenegro Zamora

2019

RESUMEN

KEYWORDS: PLANTA, CONTROL PI, LABVIEW, PLC.

El presente proyecto tiene como objetivo controlar el nivel de líquido en un estanque, ubicado en una maqueta de una planta de proceso perteneciente a la carrera de Técnico Universitario en Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María. A través del entorno gráfico del software LabVIEW, se diseñará el control PI de dicha planta, en donde el usuario podrá establecer los valores de nivel de líquido que estime conveniente.

Se crearán dos modos de operación, un modo manual y un modo automático en donde a través de la HMI creada en LabVIEW el usuario podrá interactuar de diferentes maneras con la planta. Se utilizará el sensor de presión hidrostático para la medición de nivel, la bomba centrífuga como nuestro principal actuador, el PLC S7-1200 como controlador y las válvulas manuales como perturbaciones para lograr visualizar los diversos comportamientos que tiene la planta.

ÍNDICE

1. PROBLEMÁTICA 3

1.1. INSTITUCIÓN.....3

1.1.1. Misión.....4

1.1.2. Visión 4

1.1.3. Sedes y Campus.....4

1.2. SEDE VIÑA DEL MAR.....5

1.3. CARRERA TÉCNICO UNIVERSITARIO EN ELECTRÓNICA 5

1.4. LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS.....6

1.5. PROYECTO 6

1.5.1. Planta.....7

1.5.2. PLC.....8

1.5.3. Válvula Manual.....9

1.5.4. Válvula proporcional 10

1.5.5. Bomba Centrífuga 10

1.5.6. Sensor de Presión Hidrostático 11

1.5.7. Flujómetro 12

1.5.8. Sensor de Presión.....13

1.6. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....14

1.6.1. Objetivo General 14

1.6.2. Objetivos Específicos.....14

2. IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO 16

2.1. ESQUEMAS DE CONTROL 16

2.1.1. Lazo abierto.....16

2.1.2. Lazo Cerrado.....17

2.1.3. Actuador 18

2.1.4. Medición.....19

2.1.5. Controlador 20

2.1.6. Esquema de Conexiones 21

2.2. PROGRAMACIÓN.....21

2.2.1. TIA PORTAL.....22

2.2.2. OPC SERVER.....25

2.2.3. LabVIEW 26

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....32

3.1. OBTENCIÓN DE LA PLANTA 32

3.2. OBTENCIÓN DEL CONTROLADOR.....34

3.2.1. Proporcional 35

3.2.2. Integral 35

3.2.3. Derivativa 35

3.2.4. Controlador PID.....35

3.2.5. Selección de los parámetros 36

3.3. RESULTADOS 37

3.3.1. Componentes del controlador 37

3.3.2. Lazo Abierto.....39

3.3.3. Lazo Cerrado.....39

3.4. FUTURAS PROYECCIONES.....41

CONCLUSIONES 43

BIBLIOGRAFÍA 44

ANEXO45

ANEXO: PROGRAMACIÓN 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Universidad Técnica Federico Santa María Casa Central.....	3
Figura 1-2. Campus y Sedes Universidad Técnica Federico Santa María.....	4
Figura 1-3. Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar	5
Figura 1-4. Ubicación Sede Viña del Mar	5
Figura 1-5. Edificio M USM Sede Viña Del Mar.	6
Figura 1-6. Planta de Procesos.	7
Figura 1-7. Plano P&ID de la planta de Procesos	8
Figura 1-8. PLC Siemens S7-1200	9
Figura 1-9. Válvula manual.....	9
Figura 1-10. Válvula Proporcional.	10
Figura 1-11. Bomba Johnson CM10	11
Figura 1-12. Sensor de Presión Hidrostático	12
Figura 1-13. Flujómetro.....	13
Figura 1-14. Sensor de Presión.....	13
Figura 2-1. Sistema de Control en Lazo Abierto.....	16
Figura 2-2. Sistema de Control en Lazo Cerrado.....	17
Figura 2-3. Sistema en Lazo Cerrado del proyecto	18
Figura 2-4. Circuito acondicionador de la Bomba.....	19
Figura 2-5. Circuito Acondicionador de Medición	20
Figura 2-6. Esquema de Conexión.....	21
Figura 2-7. Tabla de Variables.	22
Figura 2-8. Normalizado y Escalado de la entrada Analógica.	23
Figura 2-9. Variables del OPC SERVER.....	26
Figura 2-10. Panel Frontal y Diagrama de bloques en LabVIEW.....	27
Figura 2-11. Bloque PID	28
Figura 2-12. Programación Lazo Abierto en LabVIEW.	29
Figura 2-13. Programación Lazo Cerrado en Labview.....	30
Figura 2-14. Esquema de Softwares.....	30
Figura 3-1. Nivel del estanque a un escalón de 10V.	32
Figura 3-2. Ventana principal de IDENT de MATLAB.....	33
Figura 3-3. Función de transferencia.	33
Figura 3-4. Gráfico Función de transferencia del Lazo Cerrado.....	34
Figura 3-5. Componente Proporcional.....	37

Figura 3-6. Componente Proporcional e Integral. 38

Figura 3-7. Componente Proporcional, Integral y Derivativa. 38

Figura 3-8. Control Lazo Abierto 39

Figura 3-9. Control Lazo Cerrado con Setpoint 40

Figura 3-10. Perturbación con válvula V102. 40

Figura 3-11. Perturbación con Válvula V101.....41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Descripción Técnica Válvula Proporcional. 10

Tabla 1-2. Descripción técnica de la Bomba. 11

Tabla 1-3. Descripción Técnica Sensor de Presión Hidrostático. 12

Tabla 1-4. Descripción Técnica Flujómetro. 13

Tabla 2-1. Especificaciones del PLC Siemens S7-1200 21

Tabla 2-2. Datos Recopilados del circuito 24

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLAS

PID	: Proporcional-Integrativo-Derivativo.
PLC	: Controlador Lógico Programable.
WWW	: World Wide Web.
PI	: Proporcional-Integrativo.
LabVIEW	: Acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench.
UTFSM	: Universidad Técnica Federico Santa María.
INDAP	: Instituto de Desarrollo Agropecuario.
OPC	: OLE for Process Control
CPU	: Unidad de Procesamiento Central
SPX	: Sequenced Packet Exchange
EPDM	: Etileno Propileno Dieno tipo MASTM
GPRS	: General Packet Radio Service
GSM	: Global System for Mobile communications
SMS	: Short Message Service
TCP	: Protocolo de Control de Transmisión
IP	: Internet Protocol

B. SIMBOLOGÍAS

V	: Voltaje.
mA	: Mili- Ampere.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, dentro de los procesos industriales la medición y el control de la variable de nivel se hacen necesaria cuando se pretende tener una producción continua o evitar que un líquido se derrame. La medición de estos parámetros en los líquidos dentro de un recipiente parece sencilla, pero puede convertirse en un problema, sobre todo cuando el material es corrosivo, radioactivo o se encuentra en un recipiente sellado, en el que no conviene tener un contacto directo con el líquido. El control de nivel entre dos puntos, uno alto y otro bajo, es una de las aplicaciones más comunes de los instrumentos para controlar y medir el nivel.

Con el avance de las tecnologías se ha logrado proporcionar una mayor comodidad y precisión en la variable antes mencionada, por lo que la electrónica juega cada vez un rol más importante en la automatización y control de un proceso.

El control ya mencionado se implementará en una maqueta que simula una planta de proceso proporcionada por la Universidad Técnica Federico Santa María, en donde, a través del software LabVIEW, se llevará a cabo el control de nivel dentro de un estanque.

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA

1. PROBLEMÁTICA

En los procesos industriales la medición y el control de la variable de nivel se hace necesaria sobre todo cuando el material es corrosivo, radioactivo o se encuentra en un recipiente sellado en el que no conviene tener un contacto directo con el líquido. Para evitar que el usuario tenga un contacto directo en el proceso se desea realizar un control de manera remota, en donde el usuario pueda ingresar los valores esperados en el proceso.

1.1. INSTITUCIÓN

La Universidad Técnica Federico Santa María es fundada en Valparaíso en el año 1926 por el empresario Don Federico Santa María, quien tuvo como sueño una institución que liderase en el campo de la Ingeniería, Ciencia y Tecnología, con el fin de contribuir al desarrollo y mejoramiento humano.

La Universidad Técnica Federico Santa María es una Universidad tradicional privada chilena, perteneciente al consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, a la agrupación de Universidades Regionales de Chile, a la Red Universitaria Cruz del Sur y a la Red Universitaria G9.

Actualmente se encuentra acreditada por la Comisión Nacional de Acreditación por un periodo de 6 años, desde diciembre de 2016 hasta diciembre de 2022. Figura en la posición 4 dentro de las universidades chilenas según la clasificación webométrica del CSIC. Además, está en la posición 6 según el ranking de América Economía. Dentro de las Universidades chilenas está entre las 11 que figuran en la Clasificación mundial de Universidades QS, entre las 10 que figuran en los rankings del Times Higher Education 2017 y entre las 25 que aparecen en el ranking de Scimago institution Rankings (SIR), con la posición 5 a nivel nacional y 574 a nivel mundial. La Universidad Técnica Federico Santa María tiene su casa central como puede observarse en la Figura 1-1 ubicada en Av. España, Valparaíso.



Fuente: <http://www.psu.demre.cl/images/perfil-universidad-federico-santa-maria.jpg>

Figura 1-1. Universidad Técnica Federico Santa María Casa Central

1.1.1. Misión

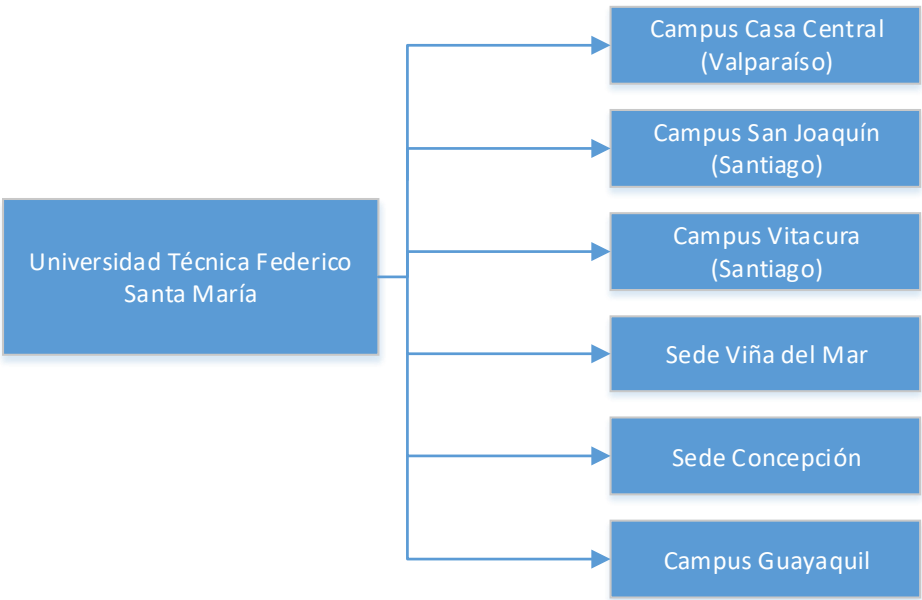
La misión de la Universidad Técnica Federico Santa María es crear y difundir nuevos conocimientos, formar integralmente profesionales idóneos en el ámbito científico- tecnológico, para liderar el desarrollo del país y la humanidad.

1.1.2. Visión

La visión de la Universidad Técnica Federico Santa María es ser un referente científico- tecnológico nacional e internacional, que, convocando a una comunidad universitaria de excelencia, estimule la difusión del conocimiento y la creación de valor, en todas sus áreas de trabajo, siendo reconocida como una Universidad líder en ingeniería, ciencia y tecnología.

1.1.3. Sedes y Campus

La Universidad Técnica Federico Santa María posee distintas sedes y campus ubicadas dentro de Chile y una de ellas situada fuera de Chile. La que se encuentra fuera de Chile, es la sede Guayaquil situada en Ecuador. Todas estas sedes y Campus pueden observarse en la Figura 1-2.



Fuente: Elaboración propia; realizada en Visio 2016

Figura 1-2. Campus y Sedes Universidad Técnica Federico Santa María

1.2. SEDE VIÑA DEL MAR

En la década de los años setenta, la Universidad Técnica Federico Santa María formula un plan de expansión. Con la ayuda Financiera del Banco Internacional de Desarrollo y la donación de los terrenos por parte de INDAP, en 1971 se construye y equipa completamente la Sede de Viña del Mar, conocida Como la Sede José Miguel Carrera. Parte de ella puede visualizarse en la Figura 1-3.

La sede se encuentra ubicada en la Avenida Federico Santa María N°6090, en el límite entre las comunas de Viña del Mar y Quilpué como se puede observar en la Figura 1-4.



Fuente: <http://www.paritariojmc.cl/images/monumento.jpg>

Figura 1-3. Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar



Fuente: Google Maps

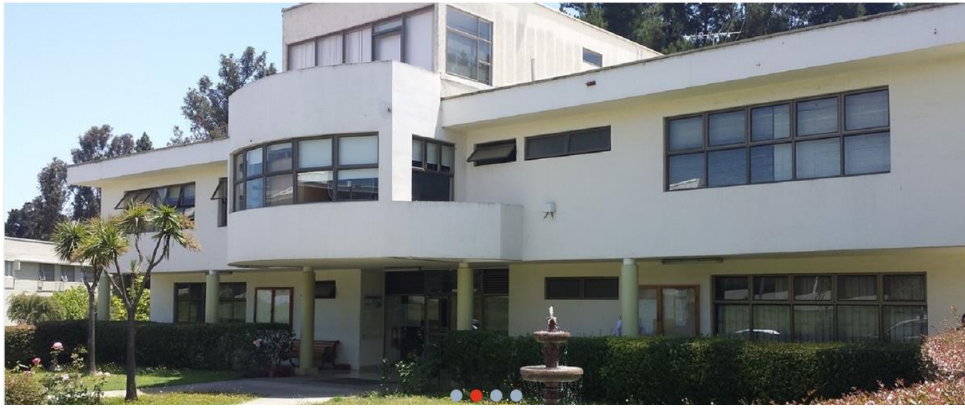
Figura 1-4. Ubicación Sede Viña del Mar

1.3. CARRERA TÉCNICO UNIVERSITARIO EN ELECTRÓNICA

La carrera de Técnico Universitario en Electrónica desde mediados del año 2008 forma parte del Departamento de Electrotecnia e Informática, junto a las carreras de Técnico

Universitario en Informática, Técnico Universitario en Electricidad y Técnico Universitario en Telecomunicaciones y Redes.

La Carrera de Técnico Universitario en Electrónica tiene una duración total de 5 Semestres y se imparte dentro de las instalaciones de la Sede José Miguel Carrera. El técnico Universitario en Electrónica es un profesional con conocimientos teóricos y prácticos en electrónica. Sus competencias le permiten desempeñarse en la instalación, operación y mantenimiento de sistemas electrónicos asociados a las áreas de electrónica de potencia, control de procesos, computadores, redes y telecomunicaciones, entre otros. La Carrera cuenta con laboratorios equipados para llevar a cabo los diversos procesos o controles prácticos que los estudiantes necesiten realizar, estos se encuentran ubicados en el edificio M de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar, el edificio antes mencionado puede observarse en la Figura 1-5.



Fuente: <http://www.elo.jmc.utfsm.cl/>

Figura 1-5. Edificio M USM Sede Viña Del Mar.

1.4. **LABORATORIO DE CONTROL DE PROCESOS**

El laboratorio de Control de Procesos se encuentra ubicado dentro del edificio M de la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña del Mar en el segundo piso de este edificio. El laboratorio está equipado con seis plantas de procesos marca RIEGEL y una marca FESTO, cada planta se encuentra equipada con un PLC S7-1200 para que los estudiantes puedan realizar distintos procesos en ellas. En este laboratorio se llevan a cabo las clases prácticas de la asignatura de Automatización y Control que imparte la Carrera Técnico Universitario en Electrónica.

1.5. **PROYECTO**

El proyecto escogido consta de una planta de procesos ubicada en el laboratorio de Control de Procesos de la Carrera Técnico Universitario en Electrónica de la Universidad Técnica

Federico Santa María sede Viña del Mar, la cual posee dos estanques, uno que facilita el traspaso del agua y otro donde se realiza el control de nivel. El control de la variable se efectúa a través del software LabVIEW y un servidor OPC para lograr la comunicación de un computador con el PLC, los cuales se encargan de recibir la señal del sensor tipo presión a cargo de monitorear el nivel en el estanque. La maqueta que se utilizó se puede observar en la Figura 1-6.



Fuente: Elaboración propia; Tomada en Laboratorio de Control.

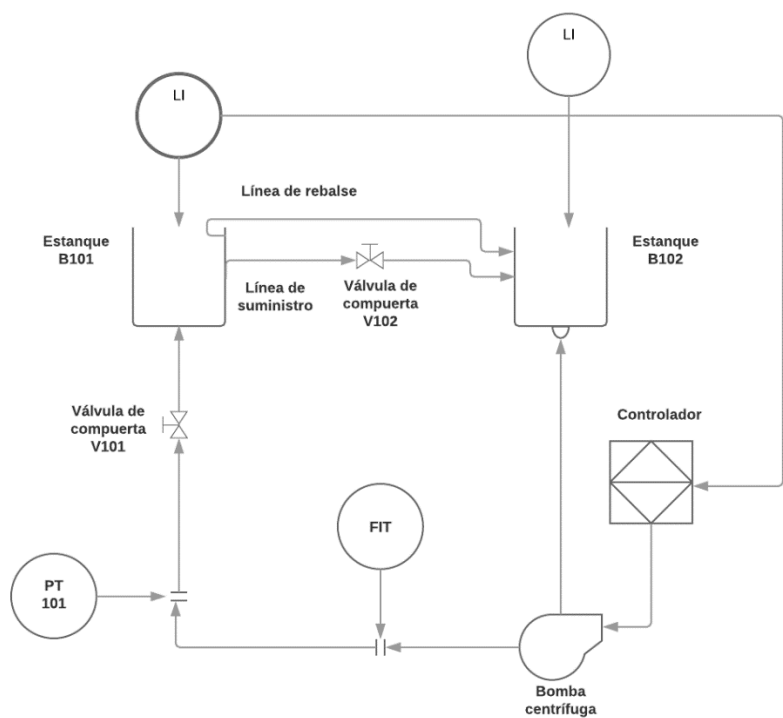
Figura 1-6. Planta de Procesos.

1.5.1. Planta

La planta RIEGEL posee un proceso hidráulico, el cual se encuentra compuesto por tres subsistemas: Un subsistema de Nivel, uno de Presión y finalmente uno de Flujo, en los cuales se pueden realizar diversas funciones, como mediciones de variables físicas, implementación de sistemas de control y calibración de instrumentos. En este proyecto se llevó a cabo el control de Nivel.

Este subsistema está compuesto por dos estanques, el B101 que corresponde al estanque superior y el B102 que corresponde al estanque inferior, este último estanque se encarga de almacenar el líquido extraído del estanque B101 y a la vez alimentarlo cada vez que este requiera aumentar su nivel. Del estanque B102 se extrae líquido a través de una bomba centrífuga marca SPX modelo CM30, la cual suministra el caudal que alimenta al estanque B101.

Este caudal es enviado por medio de tuberías de PVC. El subsistema de nivel está supervisado directamente por un transmisor de nivel tipo piezoeléctrico, marca KELLER serie 26Y, ubicado en el estanque B101. En la figura 1-7 se puede observar el plano P&ID de la planta.



Fuente: Elaboración propia; realizada en
Figura 1-7. Plano P&ID de la planta de Procesos

1.5.2. PLC

Como se mencionó anteriormente, la variable que mida el sensor es escalada y enviada a la entrada análoga de un controlador, el cual, en este proyecto es el PLC S7-1200 que se muestra en la Figura 1-8. Este controlador ofrece la flexibilidad necesaria para controlar una gran variedad de dispositivos.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET, además dispone de módulos adicionales para comunicación en redes.



Fuente: <https://masvoltaje.com/2085-large/simatic-s7-1200-cpu-1214c-cpu-compacta-ac-dc-rele.jpg>

Figura 1-8. PLC Siemens S7-1200

1.5.3. Válvula Manual

La válvula es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular el paso de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial o completa uno o más conductos. En función del mecanismo de cierre, se pueden distinguir los distintos tipos de válvulas, entre los que se destacan las válvulas de esfera, las válvulas de compuerta, las válvulas de mariposa, las válvulas de asiento y las válvulas de acople rápido. Las válvulas manuales que se encuentran presentes en la planta son válvulas del tipo compuerta, la cual se puede observar en la Figura 1-9.



Fuente: Elaboración propia; tomada en Laboratorio de Control.

Figura 1-9. Válvula manual

1.5.4. Válvula proporcional

La válvula presente en la planta es una válvula Proporcional, este tipo de válvula son de infinitas posiciones, en donde la magnitud es proporcional a la señal de entrada. Entre las principales se pueden encontrar las direccionales, las de caudal y las de presión. La válvula Proporcional presente en la planta es la válvula B212B + TR24- SR- T US modelo BELIMO, la que se puede observar en la Figura 1-10. Además, su descripción técnica puede observarse en la tabla 1-1.

Tabla 1-1. Descripción Técnica Válvula Proporcional.

Voltaje Nominal	AC/DC 24V
Frecuencia nominal de voltaje	50/60 Hz
Consumo de energía	0.5W
Motor de Par	Min. 2 Nm
Motor de tiempo de funcionamiento	90s /90°
Indicación de posición	Mecánico
Grado de protección IEC/EN	IP40
Modo de operación	Tipo 1

Fuente: https://www.belimo.ch/pdf/e/TR24-SR_datasheet_en-gb.pdf



Fuente: <http://appsisecommerces3.s3.amazonaws.com/clientes/cliente6377/productos/24885/P01447676364.jpg>

Figura 1-10. Válvula Proporcional.

1.5.5. Bomba Centrífuga

La bomba centrífuga es aquella que convierte la energía mecánica en energía cinética o de presión. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica. Su funcionamiento se basa en un fluido que entra por el centro del impulsor, el cual dispone de unos álabes para la conducción del líquido y por efecto de la fuerza centrífuga, esta es impulsada hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa. La bomba ubicada en la planta es una bomba SPX

modelo CM30, su estructura física se puede observar en la Figura 1-11. Esta bomba está adaptada para una amplia gama de operaciones y funciona sin problemas en un amplio rango de temperaturas. En la tabla 1-2 se mostrará la descripción técnica de la bomba.

Tabla 1-2. Descripción técnica de la Bomba.

Eje	Acero inoxidable
Aro tórico	EPDM
Impulsor	Cuerpo: plástico reforzado con fibra de vidrio; Imán: Ferrita; Casquilla: Carbonoresina.
Caja Imán	Plástico reforzado con Fibra de vidrio
Motor	De imán permanente, cojinetes de bola, 12/24V.
Forma de Protección	IP67(DIN40050).
Tornillos	Acero, Hierro zncado, Cromado negro.
Conexiones	Manguera de 20mm
Tubo estator	Acero, electrozincado, cromado negro.
Potencia de entrada	27W
Caudal	20L/min (5,3 USGPM) con conexión Ø16 mm (5/8 ") 26 L/ min (6,9 USGPM) con conexión Ø20 mm (3/4")

Fuente: https://www.spxflow.com/en/assets/pdf/APV_Pumps_WsPlus_Sanitary_7026_02_04_2012_E_tcm11-7152.pdf



Fuente: http://img.nauticexpo.es/images_ne/photo-g/21909-11206892.jpg

Figura 1-11. Bomba Johnson CM10

1.5.6. Sensor de Presión Hidrostático

Los sensores de nivel son transmisores de presión especiales para la medición del nivel hidrostático. Para ello se sumerge el sensor directamente en el líquido hasta el fondo para alcanzar la máxima profundidad. En esta posición el sensor mide la presión hidrostática, lo que permite un cálculo directo del nivel en función de la altura de la columna del líquido. El sensor presente en la planta es de marca Keller serie 26Y y su estructura física se puede observar en la figura 1-12, el sensor consta de una membrana de acero inoxidable y esta membrana a su vez se

encuentra protegida por un tapón de plástico. Su descripción técnica puede observarse en la tabla 1-3.

Tabla 1-3. Descripción Técnica Sensor de Presión Hidrostático.

Características	Muy alta precisión, estabilidad a largo plazo, no posee histéresis de presión.
Protección	Integrada contra sobretensión y polaridad inversa
	Ip68
Corriente de Salida	4-20 mA (Tecnología de 2 cables)
Tensión de Salida	0-10V; 0,5 – 4,5V (no radiométrica)
Voltaje de alimentación	24V

Fuente: http://www.keller-druck.com/picts/pdf/engl/26y_e.pdf



Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/13762-9644852.jpg

Figura 1-12. Sensor de Presión Hidrostático

1.5.7. Flujómetro

La medición del flujómetro se basa en el principio de la ley de Faraday sobre la inducción electromagnética, por la que un cuerpo eléctricamente conductivo que se mueve en un campo magnético induce un voltaje.

El líquido que fluye en la tubería va en la dirección del campo magnético. Si el líquido tiene un mínimo de conductividad eléctrica, induce un voltaje que es detectado por dos electrodos localizados en un ángulo de noventa grados entre el campo magnético y la dirección del caudal. El Flujómetro presente en la planta es marca Arkon modelo MAGX2, es de tipo electromagnético y consiste en una tarjeta electrónica a la que se le añaden módulos opcionales para adecuarse a las necesidades del usuario. Este flujómetro puede observarse en la Figura 1-13 y su descripción técnica en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4. Descripción Técnica Flujómetro.

Precisión	±0.2 % del valor real.
Pantalla Grafica	Menú en varios idiomas.
Salida	Salida 4-20 mA con interfaz RS232.
Protocolo de comunicación	Modbus RTU.
Registro de datos	Tarjeta microSD, software de forma gratuita.
Comunicación Disponible	GPRS, GSM- SMS Y TCP/IP.

Fuente: http://arkon.co.uk/pdf/electromagnetic_flowmeters/MAGX2/Manuals/SPA/User_Guide/MAGX2_User_Guide_SPA.pdf



Fuente: <http://dos20.cl/img/dos20/MAGX2/Magx2%202%20600x600.jpg>

Figura 1-13. Flujómetro

1.5.8. Sensor de Presión

Un sensor de presión es un instrumento compuesto por un elemento detector de presión con el que se determina la presión real aplicada al sensor y otros componentes que convierten esta información en una señal de salida. El sensor presente en la planta se puede observar en la figura 1-14, estos transmisores cuentan con salida digital. Se basan en un transductor piezo-resistivo estable flotante y en un microprocesador electrónico con un convertidor análogo digital de 16 bits integrado.



Fuente: http://img.aeroexpo.online/es/images_ar/photo-g/186055-12571337.jpg

Figura 1-14. Sensor de Presión

1.6. **OBJETIVOS DEL PROYECTO**

Para lograr obtener una idea clara y definida de lo que se busca demostrar en este proyecto se han establecido objetivos. Estos serán la principal guía para el desarrollo de este proyecto.

1.6.1. **Objetivo General**

El objetivo general de este proyecto es controlar a través del software LabVIEW el nivel de líquido en una planta de proceso.

1.6.2. **Objetivos Específicos**

- Diseñar la programación en LabVIEW para el control de nivel en un estanque.
- Desarrollar una interfaz humano-máquina para el monitoreo y la selección del set point para el control de nivel en el estanque.
- Diseñar, Implementar y realizar pruebas a un controlador PI para el control de nivel.

CAPÍTULO 2: IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO

2. IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO

A continuación, se explicarán los pasos que se llevaron a cabo en la planta de procesos, se indicarán los circuitos que fueron utilizados, sus funcionamientos y cómo fueron implementados y desarrollados cada uno de ellos. También se indicarán los programas que fueron ocupados para la programación del proyecto.

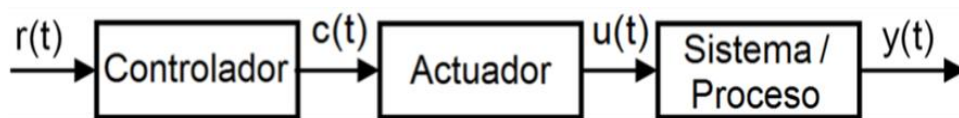
2.1. ESQUEMAS DE CONTROL

En el presente proyecto, se diseñaron 2 condiciones de operación: un modo manual, en donde se implementó un control en lazo abierto, con el que al operador se le permitirá tener un control directo sobre la potencia con la cual desee que trabaje la bomba y un modo automático, en el que se implementó un control en lazo cerrado, en donde el operador solo deberá ingresar el valor de nivel o set point deseado.

2.1.1. Lazo abierto

Como se mencionó anteriormente, uno de los modos de operación que se desea llevar a cabo es el control manual, en donde se implementó un control de lazo abierto.

Un sistema de lazo abierto es aquel en donde la salida no afecta la acción de control. En este tipo de sistema no se mide la salida, ni se realimenta para compararla con la entrada. Por lo tanto, a cada entrada de referencia, le corresponde una condición operativa fija, como resultado, la precisión del sistema dependerá de la calibración que se realice. El sistema de control en lazo abierto puede observarse en la Figura 2-1.



Fuente: Guía de Introducción, asignatura Control de Procesos.

Figura 2-1. Sistema de Control en Lazo Abierto.

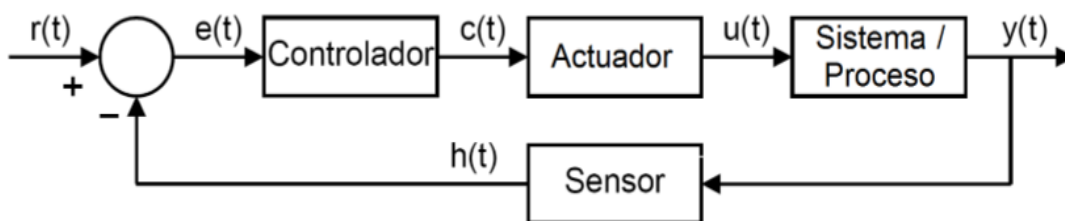
Los elementos básicos del sistema de control son:

- **Controlador:** Es el encargado de recibir una señal de consigna o de referencia y convertirla en una señal que consiga que el sistema alcance el valor o referencia deseado. Es sobre el que se debe ejercer el análisis para determinar los cambios que se deben realizar a la señal de entrada para que la planta responda según las especificaciones.

- Actuator: Es el elemento que recibe una orden desde el controlador, y la adapta a un nivel adecuado según la variable de salida necesaria para accionar el elemento final de control, planta o proceso.
- Sistema o Proceso: También llamado en ocasiones planta, es aquel que se desea controlar.

2.1.2. Lazo Cerrado

Un sistema de Lazo Cerrado es aquel en donde la acción de control está en función de la señal de salida. Estos tipos de sistemas usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control. Los elementos del sistema de control en lazo cerrado son los mismos que los del sistema en lazo abierto, a excepción de dos elementos, el sensor y el comparador. En donde el sensor, es aquel que mide la variable a controlar en el sistema, esto permite saber el estado del sistema y corregir las desviaciones para lograr conseguir la respuesta deseada. El comparador es aquel elemento que está representado a través de un círculo en el esquema. Su función, es comparar la señal de referencia y la señal de retroalimentación y calcular el error que existe entre la respuesta deseada y el estado real del sistema. A partir de este error se puede conseguir que el sistema llegue al estado deseado. El control en lazo cerrado puede observarse en la Figura 2-2.



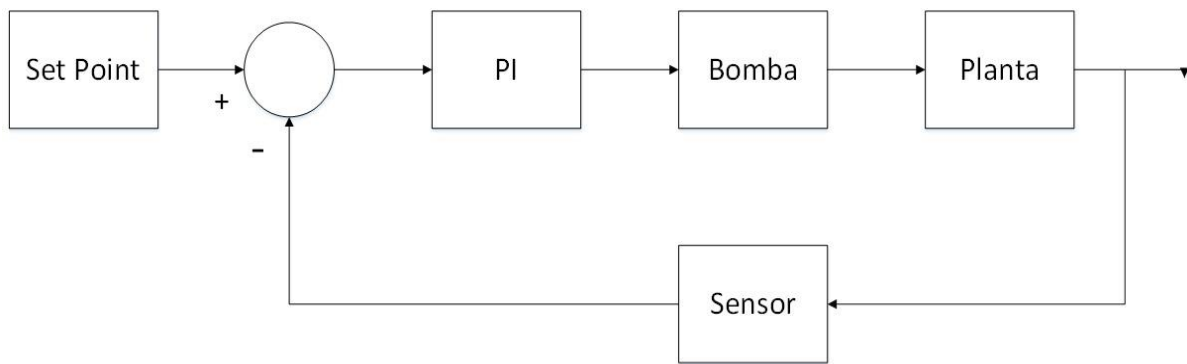
Fuente: Guía de Introducción, asignatura de Control de Procesos.

Figura 2-2. Sistema de Control en Lazo Cerrado.

Las señales del sistema de control son las siguientes:

- Referencia ($r(t)$): Es el estado que se desea alcanzar en el sistema.
- Error ($e(t)$): Es la diferencia entre el estado deseado y el estado real del sistema a controlar.
- Control ($c(t)$): Es la señal que genera el controlador.
- Actuator ($u(t)$): Es la acción que se ejerce sobre el sistema para controlarlo.
- Salida ($y(t)$): Es el estado real que ha alcanzado el sistema a controlar.
- Medición ($h(t)$): Es la medida del estado del sistema.

En estos tipos de sistemas anteriormente descritos y basándose en el tipo de componentes a utilizar, se puede describir que en esta oportunidad el controlador será uno del modo PI, el actuador será la bomba centrífuga, el sistema o proceso, será la planta y finalmente el sensor, será el sensor de presión hidrostático. Lo antes mencionado puede observarse en la Figura 2-3.



Fuente: Elaboración propia; realizado en Visio.

Figura 2-3. Sistema en Lazo Cerrado del proyecto

2.1.3. Actuador

Como se mencionó anteriormente en el capítulo uno, se utilizó la planta de procesos RIEGEL ubicada en el laboratorio de control de procesos de la Universidad Técnica Federico Santa María. En esta planta se realizó el control de nivel de agua en el estanque B101 mediante el sensor de presión y la bomba centrífuga.

En este proyecto y como se observa en la Figura 2-4, el actuador en esta oportunidad será la bomba centrífuga. Con la cual se impulsa el líquido desde el estanque B102 hacia el estanque B101.

Para la bomba se utiliza la salida analógica QW80 del PLC, que entrega un voltaje de 0 a 10 V y una corriente muy pequeña, a diferencia de la bomba que trabaja con un voltaje de 24V y una corriente de 0,9 A para funcionar correctamente, por lo que se diseñó un circuito que logre adaptar, tanto el nivel de tensión como el de corriente. A través de este circuito de adaptación, además de conseguir un voltaje variable a la salida, también proporciona protección a la salida analógica del PLC, ya que la bomba al requerir tanta corriente puede ocasionar que el equipo se dañe. Lo primero que se realiza, es escoger un transistor que pueda tolerar la corriente solicitada por la bomba, por lo que se escoge el transistor TIP31C. Este transistor es uno del tipo bipolar de alta potencia y tolera una corriente de colector de 3A. Al TIP31C, se le procede a medir el Hfe con el tester para obtener el valor de la resistencia adecuada que requiera el circuito, el Hfe del

transistor dio un valor de 79. Luego de obtener este resultado se procede a calcular el valor de la corriente de base.

$$Hfe = \frac{Ic}{Ib}$$

$$Ib = \frac{0.9A}{79}$$

$$Ib = 11.4 \text{ mA}$$

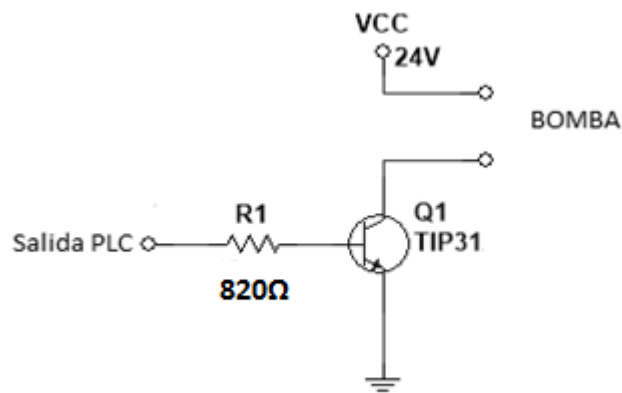
Una vez obtenido el valor de la corriente que circula por base y teniendo el voltaje máximo existente en la salida del PLC, se calcula la resistencia de base.

$$Rb = \frac{Vb - Vbe}{Ib}$$

$$Rb = \frac{10 - 0.7}{11.4mA}$$

$$Rb = 845\Omega$$

Como no existe una resistencia comercial de 845Ω se utilizó una de 820Ω en la base del transistor. La conexión final del circuito puede visualizarse en la Figura 2-4.



Fuente: Elaboración Propia; realizado en Visio.

Figura 2-4. Circuito acondicionador de la Bomba.

2.1.4. Medición

Como se logra observar en el esquema de la Figura 2-3, el bloque de medición se lleva a cabo a través del sensor de presión. Los datos obtenidos por el sensor se ingresan en el PLC a través de la entrada analógica IW64, por lo que previamente se debe implementar un circuito

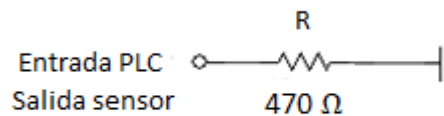
acondicionador de señal, debido a que la entrada analógica que utiliza el PLC se encuentra en voltaje de 0 a 10 V y los enviados por el sensor se encuentran en corriente de 4-20 mA. Este circuito acondicionador está constituido por una resistencia que permite transformar la corriente del sensor en voltaje. Haciendo uso de la ley de Ohm se hace el cálculo de la resistencia como se observa en la siguiente fórmula, considerando que el voltaje máximo a 20mA debe ser de 10V.

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{10\text{ V}}{20\text{mA}}$$

$$R = 500\Omega$$

Debido a que no se encuentran resistencias comerciales de ese valor, se utiliza la más cercana que en este caso es de 470 Ω . El circuito acondicionado puede observarse en la Figura 2-5.



Fuente: Elaboración propia; Realizado en Paint

Figura 2-5. Circuito Acondicionador de Medición

2.1.5. Controlador

El controlador es el elemento que recibe todas las señales de los sensores distribuidos en la planta y produce señales de control de acuerdo con esas entradas y al método de control que se tenga programado. El controlador que se utiliza en el proyecto es el PLC S7-1200 1214 AC/DC/RLY. Este PLC tiene integradas 14 entradas digitales y 2 entradas analógicas, además de 10 salidas digitales y un módulo integrado para obtener una salida analógica. Como se mencionó anteriormente en el proyecto, se hizo uso de una entrada analógica para el sensor y una salida analógica para el motor. El PLC S7-1200 posee dos entradas analógicas integradas de voltaje con un rango de 0 a 10 V, con una resolución de 10 bits y un rango total de 0 a 27648. Las entradas analógicas integradas de la CPU tienen las direcciones %IW64 e %IW66. Las mismas condiciones presenta la salida analógica del módulo la que posee la dirección %QW80.

Cuando se dispone de un valor de entrada analógico, este debe normalizarse por regla general para que los valores numéricos coincidan con las magnitudes físicas. Para la normalización deben transformarse los valores al tipo de datos REAL, para minimizar los errores de redondeo.

Las características técnicas del PLC más importantes son:

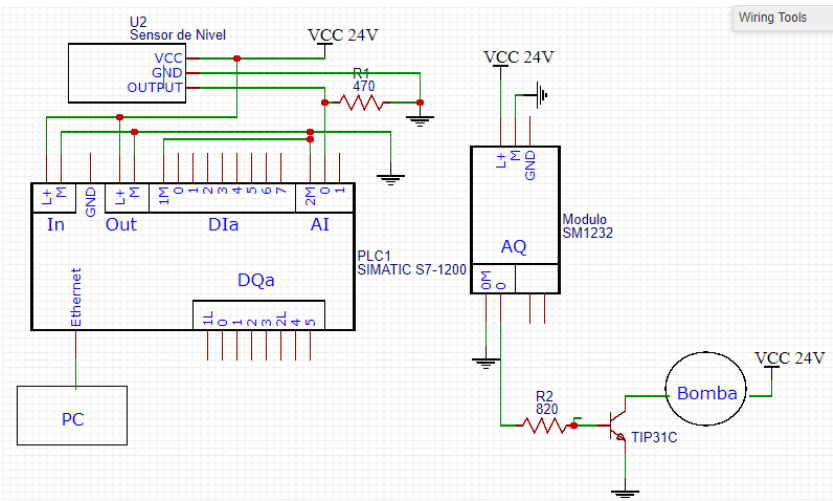
Tabla 2-1. Especificaciones del PLC Siemens S7-1200

Fabricante	Siemens
Módulo central	CPU 1214 AC/DC/relé
Tensión nominal de alimentación	230V AC
Tensión nominal de carga	24V DC
Consumo	Nominal 50 mA, máximo 150 mA
Máxima intensidad al conectar	20A
Entradas digitales	14
Entradas análogas	2
Salidas digitales	10

Fuente: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>

2.1.6. Esquema de Conexiones

El esquema de conexiones de todos los componentes y circuitos puede visualizarse en la Figura 2-6.



Fuente: Elaboración propia; realizado en easyeda.
Figura 2-6. Esquema de Conexión.

2.2. PROGRAMACIÓN

Se refiere por programación a la configuración de todos los softwares utilizados para lograr el control de las variables involucradas en la planta. Los softwares utilizados en la programación son tres: TIA PORTAL, OPC SERVER y LabVIEW.

La programación se realiza utilizando LabVIEW como interfaz gráfica y de control, en apoyo con TIA Portal para la definición de variables. Se decidió utilizar el PLC como entrada y salida de datos, siendo todo procesado y monitoreado en un PC portátil con LabVIEW, el cual a su vez opera como HMI. Para esto se configuró un servidor OPC para la correcta comunicación del PLC con el PC.

2.2.1. TIA PORTAL

El software que se va a utilizar en este trabajo es el TIA Portal (Totally Integrated Automation) de Siemens. TIA portal es el sistema innovador de la ingeniería, que permite configurar de forma intuitiva y eficiente todos los procesos de planificación y producción. Este software incorpora las nuevas versiones, como SIMATIC STEP7, WinCC y Startdrive para la programación, parametrización y diagnóstico de los controladores, pantallas de visualización y accionamientos. Este salió al mercado con la versión V10.5 en el año 2009, desde aquella fecha ha mejorado y añadido diversas funcionalidades a su software, entre ellas la versión que se utiliza en este trabajo, la V13. La programación principal del controlador no se generó mediante TIA portal, pero si se realizó una tabla de variables, como puede visualizarse en la Figura 2-7, para luego utilizarlas en LabVIEW, además del normalizado y escalado de la entrada analógica del PLC, como puede observarse en la Figura 2-8.

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
1	Entrada	Word	%IW64	☐	☒	☒	
2	Salida	Word	%QW80	☐	☒	☒	
3	Salida normalizada	Real	%MD0	☐	☒	☒	
4	Salida escalada	Real	%MD4	☐	☒	☒	
5	Apagado de Bomba	Bool	%M10.0	☐	☒	☒	
6	<Agregar>			☐	☒	☒	

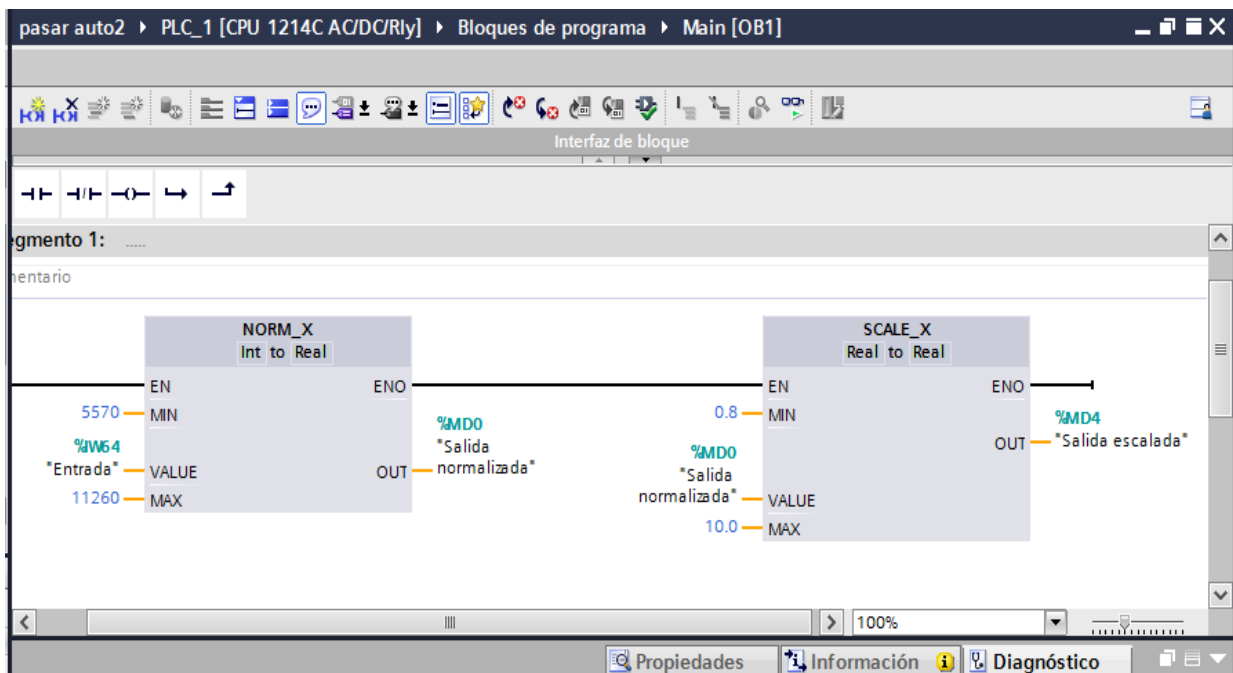
Fuente: Elaboración propia; realizado en TIA portal
Figura 2-7. Tabla de Variables.

TIA portal posee una tabla de variables en donde se puede asignar información con respecto al objeto que se utilizará. Existen varios tipos de variables que permiten hacer referencia del estado de una forma lógica. Entre ellos están:

- Variables Globales: Estos tipos de variables se encuentran accesibles al programador en cualquier parte de la programación.
- Variables Temporales: Son aquellas que solo se encuentran disponibles dentro del bloque de programación el cual haya sido creado.
- Marcas: Son espacios de memoria donde se almacenan estados lógicos del programa, las marcas son representadas con la dirección %M

Como puede observarse en la Figura 2-7, además de las variables también se encuentran los tipos de datos, entre los más comunes se pueden mencionar los siguientes:

- Bool: Analiza el estado de la variable si está en 1 o 0.
- Byte: Es la composición de ocho bits
- Word: Conocida como palabra, es la composición de dos BYTE.
- DWord: Doble palabra, se refiere a la composición de dos WORD.
- INT: Maneja los datos de coma flotante.



Fuente: Elaboración propia; realizado en TIA PORTAL.

Figura 2-8. Normalizado y Escalado de la entrada Analógica.

Como se mencionó anteriormente, cuando se dispone de un valor de entrada analógico, este debe normalizarse por regla general para que los valores numéricos coincidan con las magnitudes físicas. Para ello TIA portal contiene dos bloques, los cuales son NORM_X Y SCALE_X.

La instrucción NORM_X normaliza el valor de las variables de la entrada “VALUE” mapeándolas en una escala lineal. Los parámetros mínimos y máximos sirven para definir los limites de un rango de valores que se refleja en la escala. En función de la posición del valor que se debe normalizar en este rango de valores, el resultado se calcula y se deposita como numero en coma flotante a la salida. En este caso se normaliza la entrada %IW64, cuyos valores pueden tomarse en el rango entre 5570 y 11260 a un número real entre 0 y 1 que se deposita en %MD0. La instrucción SCALE_X, escala el valor de la entrada “VALUE” mapeándolo en un rango de valores determinado. Al ejecutar la instrucción, el número en coma flotante de la entrada “VALUE” se escala al rango de valores definidos por los parámetros mínimos y máximos. El resultado de la escala es un número real que se deposita en la salida. En este caso se escala el valor almacenado en %MD0 en el rango entre 0.8 y 10, almacenando este valor en formato real en el área de memoria en doble palabra MD4. Para saber los valores máximos y mínimos que toma el sensor se procede a vaciar el estanque superior y anotar el valor mínimo al cual llega el nivel del líquido, el cual es aproximadamente de 0.8 Litros. Para obtener el valor máximo, se puede visualizar en el estanque, que dicho dato es de 10 Litros aproximadamente, estos valores serán ingresados en el bloque SCALE_X. Los datos recopilados para el bloque NORM_X fueron tomados midiendo el voltaje en el circuito acondicionador como se muestran en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Datos Recopilados del circuito

Volumen (L)	Voltaje (V)
1	2.07
2	2.29
3	2.52
4	2.75
5	2.98
6	3.21
7	3.43
8	3.66
9	3.89
10	4.05

Fuente: Elaboración Propia; Realizado en Word y tomados en la Planta de Procesos.

Con los datos obtenidos en la tabla, se procede a calcular el valor mínimo y máximo del bloque. Se sabe que la entrada analógica del PLC trabaja entre los valores de 0 a 27648 bits correspondientes a los voltajes entre 0 a 10V. Como el circuito entrega un voltaje máximo de 4.02V y un voltaje mínimo de 2.03V procedemos a determinar el valor de la conversión análogo digital.

$$X_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{máx circuito}} * \text{máx bits}}{V_{\text{máx PLC}}}$$

$$X_{\text{máx}} = \frac{4.05 * 27648}{10}$$

$$X_{\text{máx}} = 11197$$

$$X_{\text{mín}} = \frac{V_{\text{mín circuito}} * \text{máx bits}}{V_{\text{máx PLC}}}$$

$$X_{\text{mín}} = \frac{2,03 * 27648}{10}$$

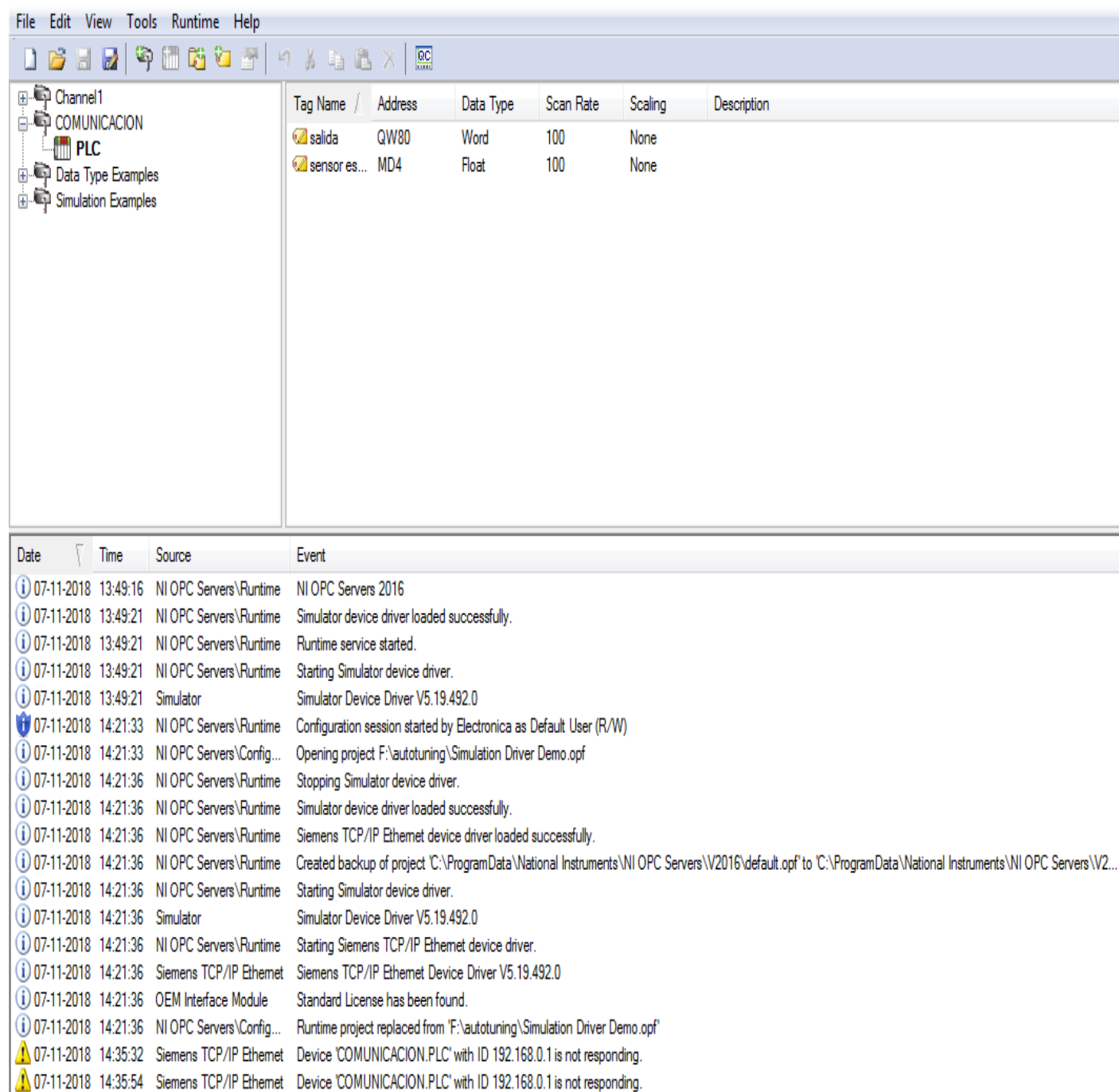
$$X_{\text{mín}} = 5612$$

Los valores obtenidos en las fórmulas anteriores son las que se ingresan al bloque NORM_X, el valor de 5612 se ingresa en el rango mínimo del bloque y el 11197 se ingresa en el valor máximo, luego dichos datos se cargan al PLC. Debido a que los valores teóricos a comparación de los prácticos presentan un pequeño margen de error, se debieron ajustar levemente los rangos para que el nivel del liquido en el estanque quedara lo más exacto posible, es por esta razón que se ingresan en el bloque los valores de 5570 en el mínimo y 11260 en el máximo.

2.2.2. OPC SERVER

El OPC SERVER es un potente software de comunicación que cumple con la función de un servidor, es de fácil manejo y proporciona el acceso a la información del proceso en tiempo real, en los dispositivos de protección y de control a lo largo de toda la planta. Es un software capaz de comunicar varios tipos de dispositivos de diferentes marcas y protocolos con la finalidad de establecer una conexión entre los equipos y poder realizar un enlace de forma directa. En este caso se integraron dos marcas en un mismo proceso, mediante el NI OPC SERVER 2016 se realizó un enlace entre el software de control, TIA portal V13 de la compañía SIEMENS y el software LabVIEW 2013 de la compañía NATIONAL INSTRUMENT.

Las variables del PLC agregadas al OPC SERVER pueden observarse en la Figura 2-9.



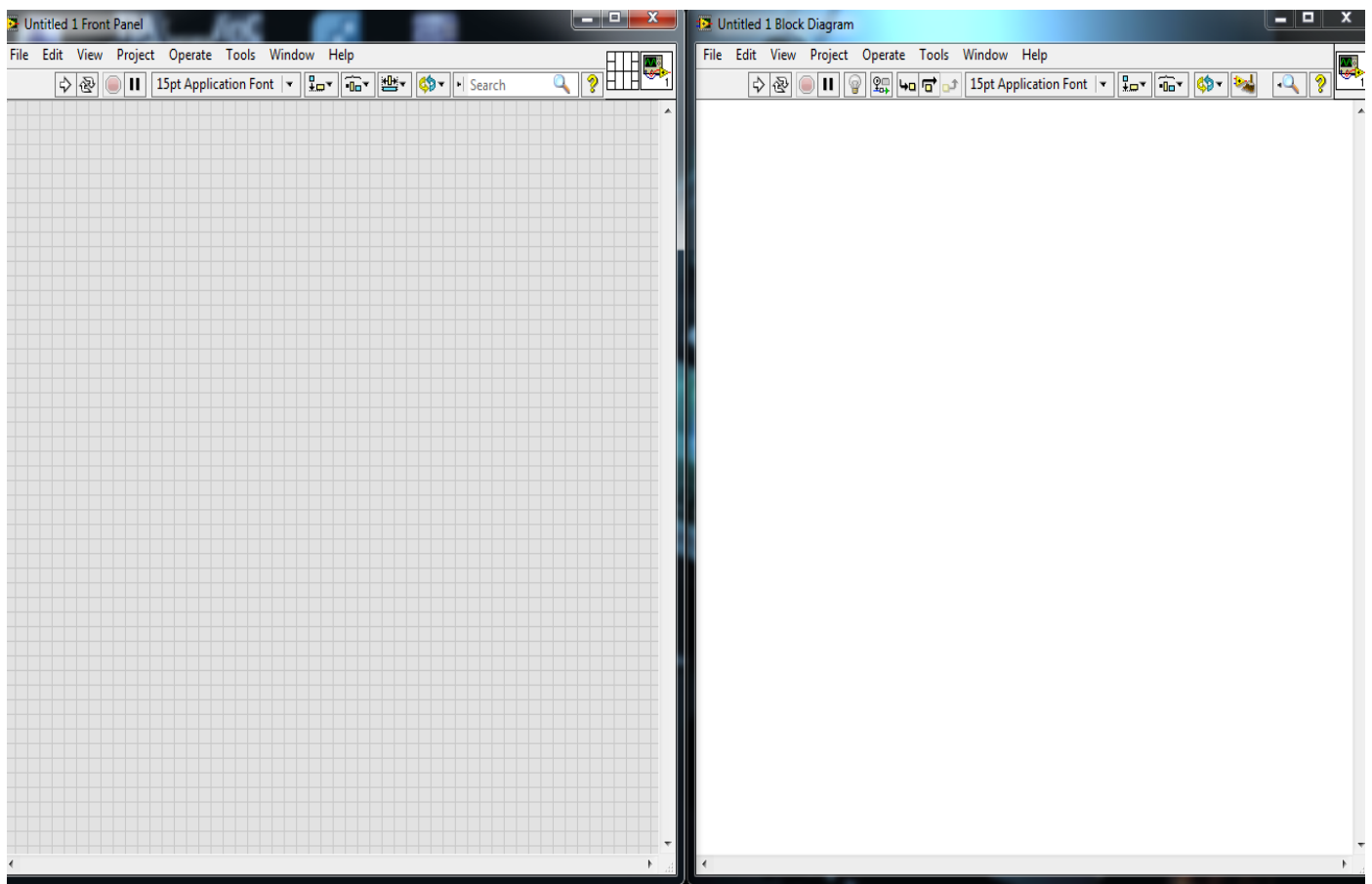
Fuente: Elaboración propia; realizado en OPC SERVER.
Figura 2-9. Variables del OPC SERVER.

2.2.3. LabVIEW

LabVIEW es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas con un lenguaje de programación gráfico. LabVIEW posee extensas librerías de funciones, además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación y comunicación serie, análisis, presentación y almacenamiento de datos.

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan instrumentos virtuales o más conocidos como VI, porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento

real. Todos los VI tienen un panel frontal y un diagrama de bloques en donde a la izquierda se encuentra el Panel Frontal, que es donde se puede desarrollar una interfaz humano- máquina, a través de la combinación de figuras y colores. A la derecha se encuentra el Diagrama de Bloques, que es la ventana en la cual se desarrolla la programación gráfica de la interfaz por medio de la conexión de terminales, nodos y cables. En donde un terminal es un bloque o elemento que se crea automáticamente cuando es trasladado al panel frontal, estos pueden ser de entrada o de salida. Un nodo es un bloque de ejecución del programa, el cual puede ser una multiplicación, división, etc. Finalmente, un cable es el que permite realizar la conexión entre un terminal y un nodo. El Panel Frontal y el Diagrama de bloques pueden visualizarse en la Figura 2-10.

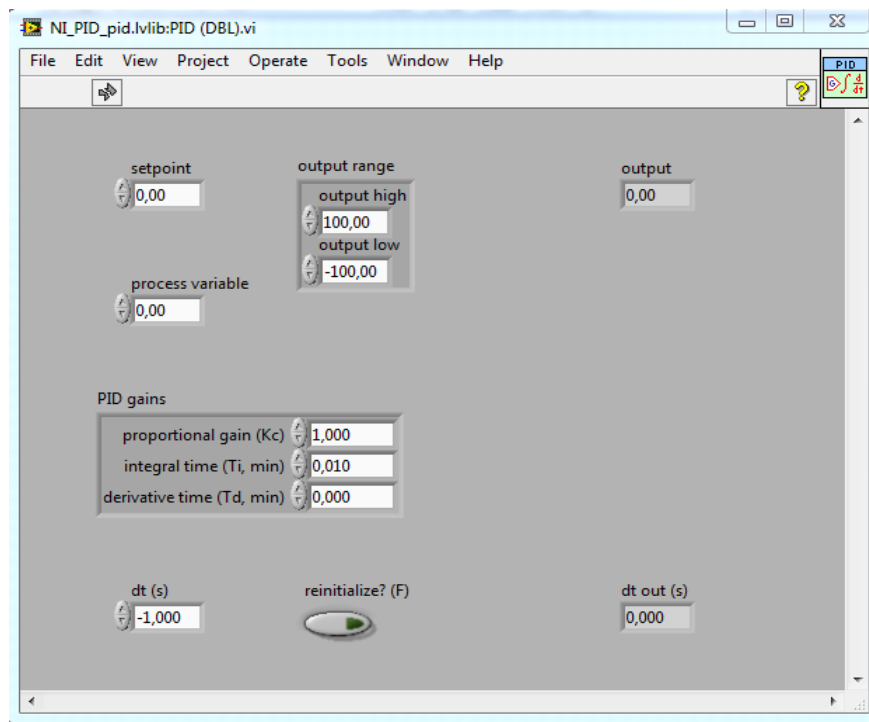


Fuente: Elaboración Propia; realizado en LabVIEW.

Figura 2-10. Panel Frontal y Diagrama de bloques en LabVIEW

El panel frontal y el Diagrama de bloques poseen una paleta de controles y una paleta de funciones, respectivamente, las que sirven para desarrollar la interfaz gráfica y la programación del proyecto.

La programación principal se realiza mediante este software. Como se menciona anteriormente, LabVIEW contiene una gran cantidad de librerías, por lo que para poder realizar un control PI en la planta, se descargó el toolkit PID and FUZZY Logic, el cual contiene una gran variedad de bloques, el utilizado en esta programación se puede visualizar en la Figura 2-11.



Fuente: Elaboración propia; realizado en LabVIEW.

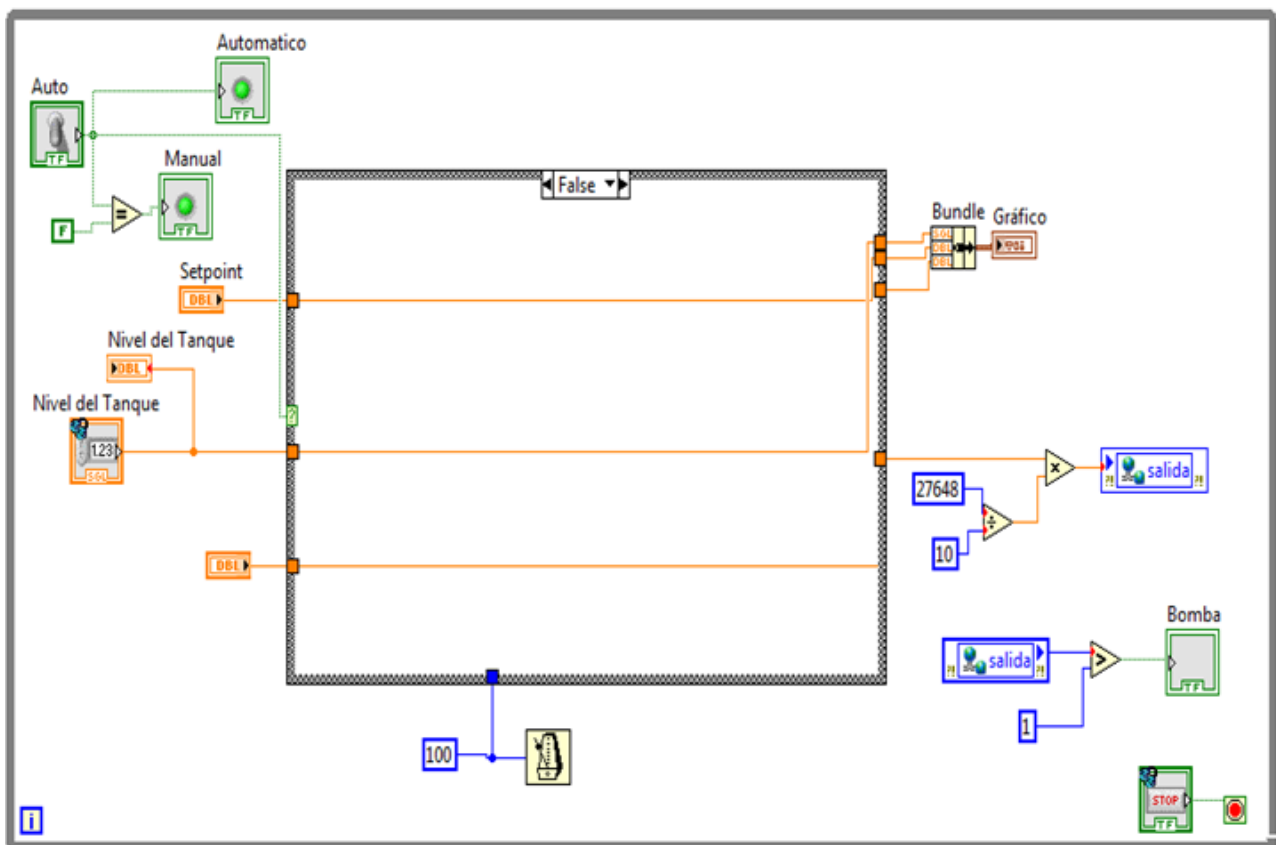
Figura 2-11. Bloque PID

En este bloque los valores del SetPoint serán ingresados por el usuario a través de un bloque llamado “Numeric Control” el que permitirá que el valor ingresado pueda ser variado. Luego en “output range” se ingresan los valores máximos y mínimos a los que se encuentra trabajando la planta, en nuestro caso es entre 0 y 10. En “Process variable” se debe ingresar, como su nombre lo dice, la variable de proceso, en nuestro caso es el sensor escalado. Para poder ingresar esta variable se debe hacer uso de las variables que se ingresaron previamente en el OPC SERVER. Para que el bloque PID funcione correctamente se debe agregar dentro de un Loop o bucle infinito para que se repita continuamente la lectura y escritura de las variables, luego se agrega un terminal de tiempo para ratificar el periodo de actualización de datos, en este caso se ingresó el bloque “Wait Until ms Múltiple” el cual se unió a un número constante para especificar el tiempo de actualizado.

2.2.3.1. Operación Manual

En el proyecto se llevaron a cabo dos modos de operación, uno en modo manual y otro en modo automático. En el modo manual se llevó a cabo un control en lazo abierto en donde solo actúa el proceso sobre la señal de entrada, lo cual da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, esto significa que no hay retroalimentación. Para realizar el sistema a lazo abierto en LabVIEW se conectó un bloque de control numérico directo a la bomba,

para lograr que el operador tenga un control sobre la potencia deseada en la bomba. Para visualizar el nivel del estanque y la potencia a la que trabajaba la bomba se conectó la variable del sensor escalado y la variable de salida a un gráfico perteneciente a LabVIEW el cual se llama Gfatic Chart. Como puede observarse en la figura 2-12. se utiliza un bloque booleano para escoger si se desea que el proceso sea manual o automático. La variable del nivel del estanque se debe trasladar desde el OPC SERVER hacia LabVIEW como se podrá observar mas adelante en el anexo. El mismo procedimiento se debe utilizar para la variable de salida, con la diferencia que este no se encuentra escalado, por lo que, para lograr llevarlo dentro de los rangos establecidos en LabVIEW dividimos 27648 en 10 y el resultado de este se multiplica con la salida del bloque PID y esta se envía a la variable de Salida. Las variables trasladadas desde el OPC SERVER se pueden visualizar en LabVIEW con un pequeño icono a su lado, como en este caso lo son el Nivel del Estanque, la Salida y el Stop.



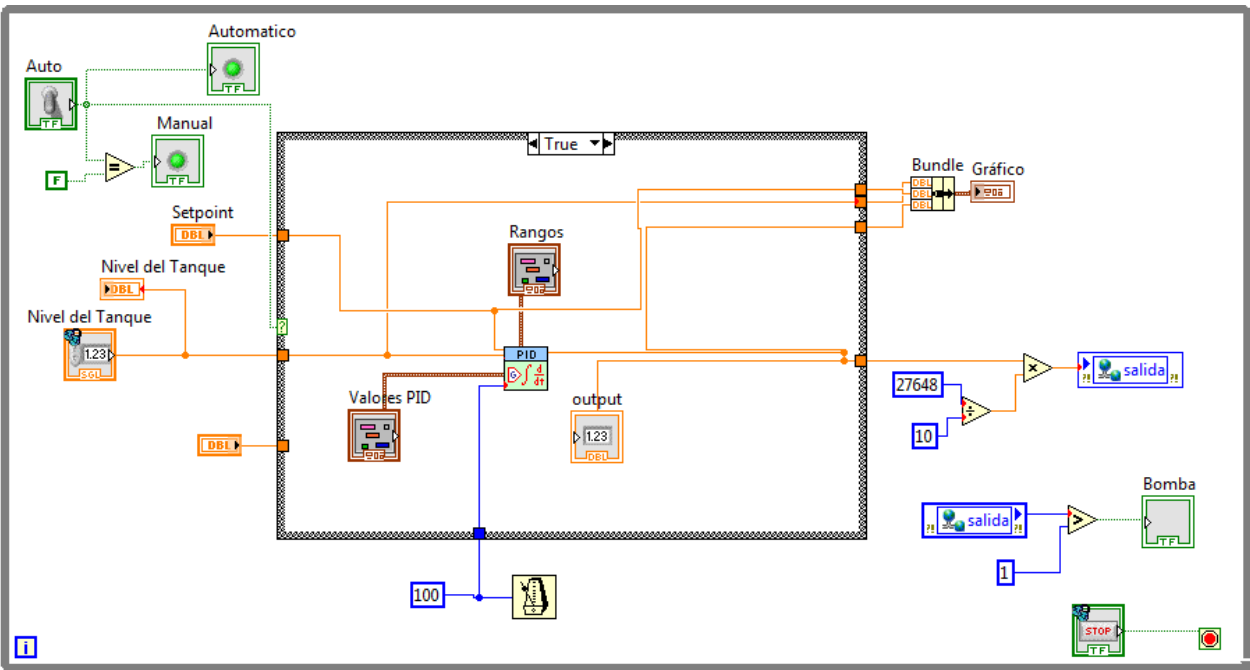
Fuente: Elaboración propia; realizado en LabVIEW

Figura 2-12. Programación Lazo Abierto en LabVIEW.

2.2.3.2. Operación Automática

En la operación automática se llevó a cabo un control en lazo cerrado, en donde el operador debe digitar en el Setpoint el “valor de líquido” que requiera necesario en el estanque y este debe llegar automáticamente al volumen indicado. La programación en LabVIEW es

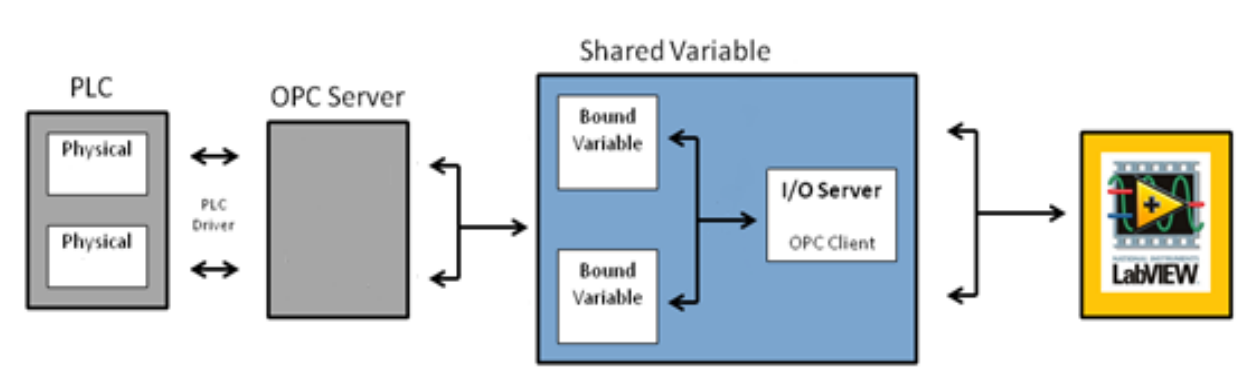
bastante similar a la descrita anteriormente en el Lazo Abierto, con la diferencia de que este control posee retroalimentación. Como puede observarse en la figura 2-12. se utilizó el bloque PID.Vi en donde la variable del Nivel del Estanque se debe ingresar al “process variable”. En el Setpoint se agregó un control numérico y en output se ingresó la variable de Salida, la cual debió ser escalada igual como se había mencionado anteriormente. La variable del nivel del estanque sería el sensor escalado y la variable de salida sería la bomba.



Fuente: Elaboración propia; realizado en LabVIEW.

Figura 2-13. Programación Lazo Cerrado en Labview

En la Figura 2-14 se puede observar el esquema de cómo se conectan estos tres softwares para su óptimo funcionamiento.



Fuente: http://www.ni.com/cms/images/devzone/tut/OPC_20120907164245.png

Figura 2-14. Esquema de Softwares.

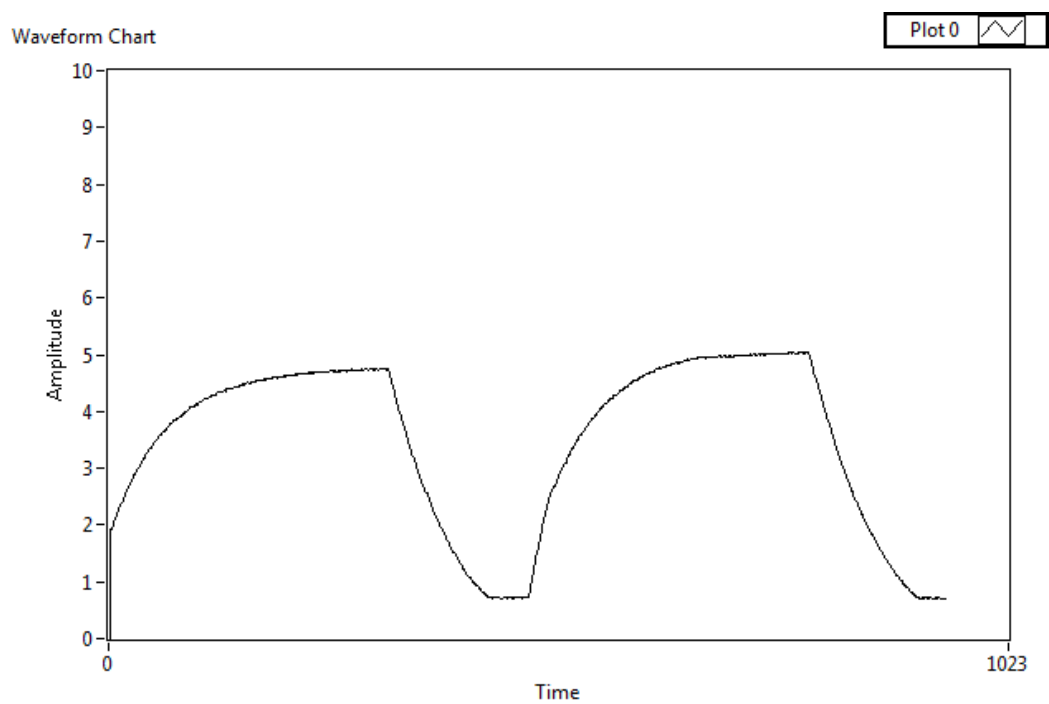
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

3. **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos, basándose en las pruebas realizadas en la planta, se explicará más en detalle por qué fueron utilizados ciertos componentes de control, además de las futuras proyecciones y mejoras que se pueden realizar en la planta.

3.1. **OBTENCIÓN DE LA PLANTA**

Para lograr obtener la función de transferencia de la Planta se utilizó el software MATLAB. Como primer paso se graficó la variable de entrada en función del tiempo a través de LabVIEW, en este caso la variable de entrada es el sensor. Como puede observarse en la Figura 3-1. se graficó el valor máximo al que llegaba el nivel del estanque al momento de aplicar un escalón de 10V.

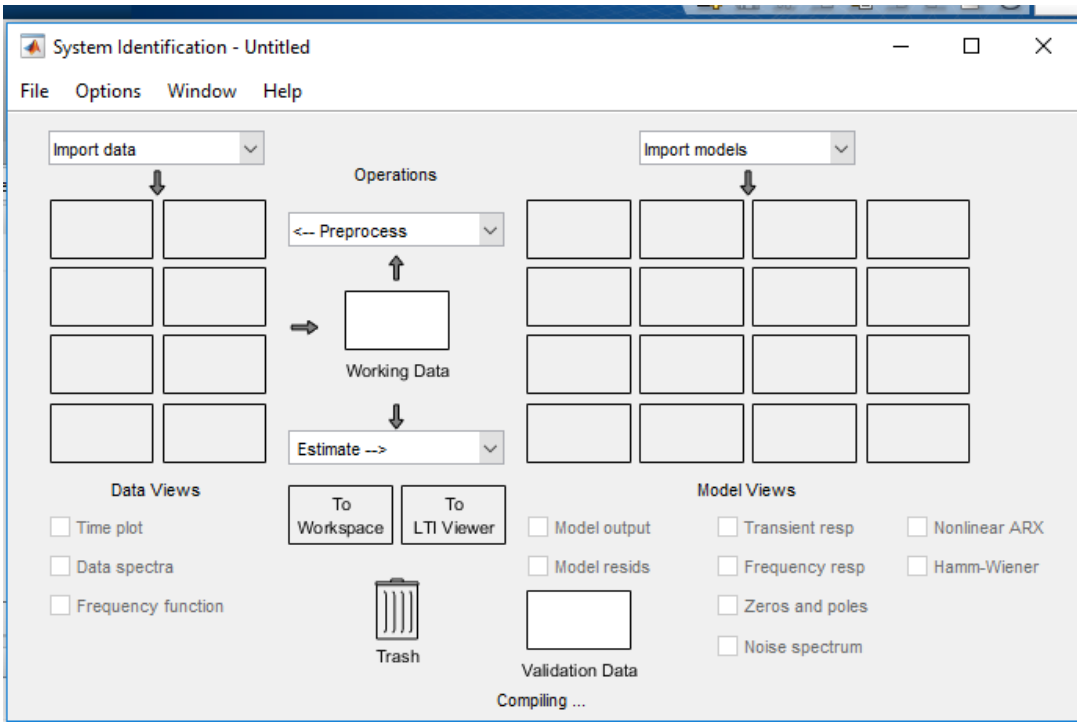


Fuente: Elaboración Propia; realizado con LabVIEW.

Figura 3-1. Nivel del estanque a un escalón de 10V.

Una vez obtenido el gráfico se procede a exportar los datos a un Excel en donde deben rescatarse los valores del tiempo, la amplitud y el escalón. Luego se debe ingresar a MATLAB y crear una nueva variable, y en cada una de ellas, debemos ingresar los valores antes mencionados. En donde la variable de actuación corresponde al escalón aplicado, la variable de respuesta a la amplitud y finalmente la variable de tiempo. Luego con la función de Plot de Matlab se puede modelar el sistema gráficamente. Se deben realizar dos pruebas al proceso, una de ellas es para generar el modelo y la otra prueba es para validarlo.

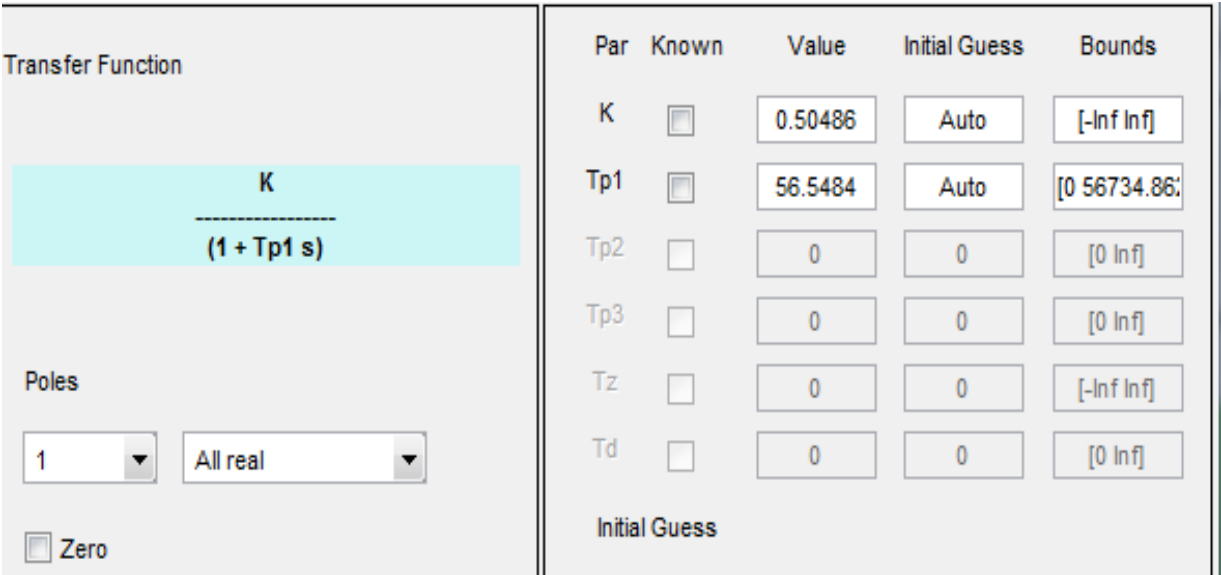
Con la herramienta IDENT de MATLAB se debe importar la información en el dominio del tiempo y agregar los valores de entrada y de salida, además del tiempo de inicio y el tiempo de muestreo como puede observarse en la Figura 3-2.



Fuente: Elaboración propia; realizado en MATLAB.

Figura 3-2. Ventana principal de IDENT de MATLAB.

A continuación, se debe realizar una selección de rangos con MATLAB, una vez realizado este procedimiento, se debe ingresar un dato en “Working Data” y el de validación en “validation Data” una vez realizado esto, estimar el proceso con un “process models” y así obtener un recuadro el cual se puede visualizar en la Figura 3-3.

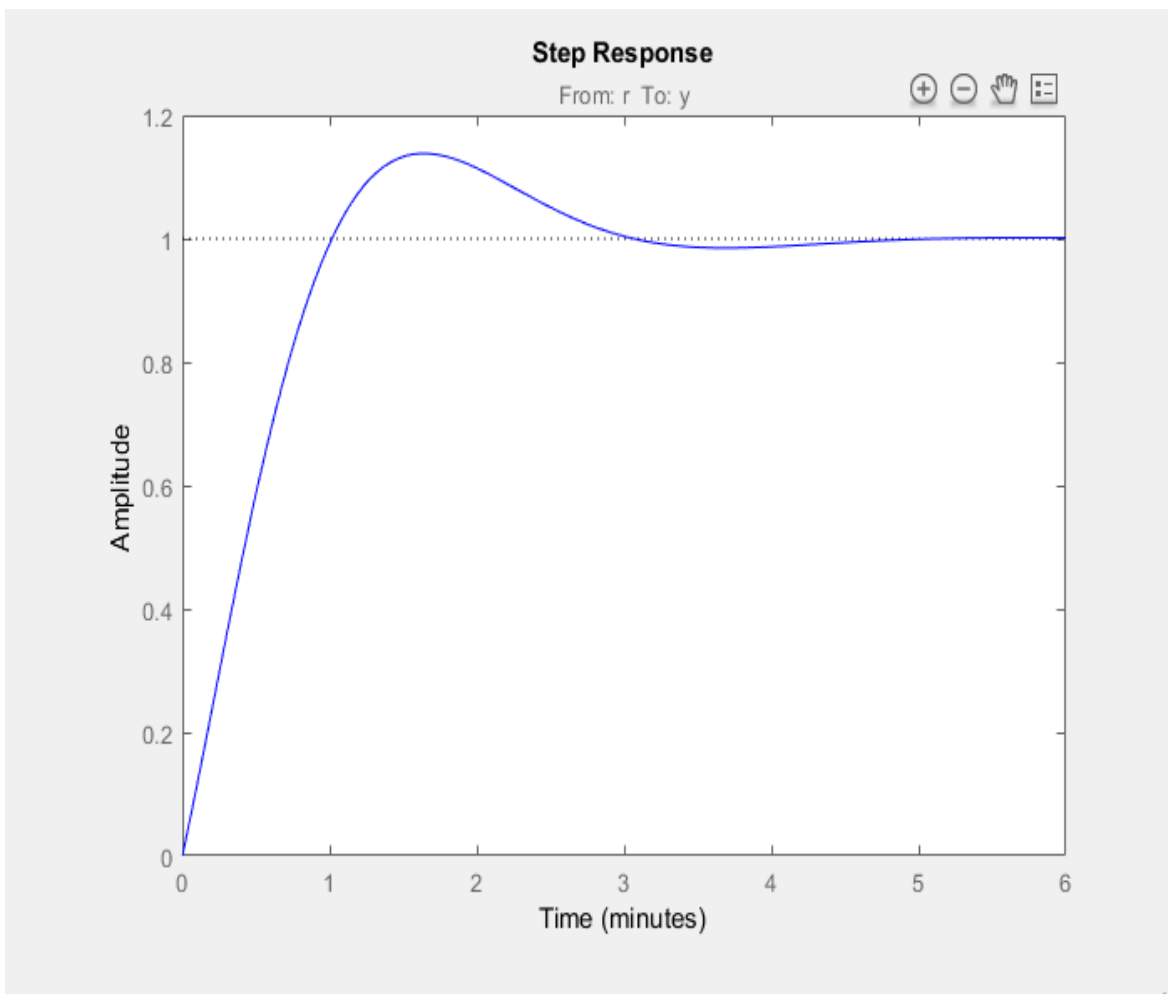


Fuente: Elaboración propia; Realizado con MATLAB.

Figura 3-3. Función de transferencia.

Con los valores obtenidos se puede comprobar que la función de transferencia de la planta es de primer orden, que su ganancia (K_c) tiene un valor de 0,5 y una constante de tiempo (T_p) de 56,5, comparando este último valor, con el tiempo que se demoró en llegar el nivel del estanque a un valor máximo, el cual fue aproximadamente de 5 minutos, se puede comprobar que los valores extraídos son bastantes similares a los calculados.

En la figura 3-4 se puede observar la función de transferencia del Lazo Cerrado obtenida con MATLAB.



Fuente: Elaboración propia; realizado con MATLAB.

Figura 3-4. Gráfico Función de transferencia del Lazo Cerrado.

3.2. OBTENCIÓN DEL CONTROLADOR

Los tres componentes de un controlador PID, son la parte proporcional, Integral y Derivativa. Donde 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 estos tres componentes es utilizada para ajustar el proceso por medio de un elemento de control.

3.2.1. Proporcional

La componente proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional, para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero. La componente proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo y configurando las componentes integral y derivativa. K_p es conocida como la ganancia proporcional, la cual debe ser ajustada.

3.2.2. Integral

La componente integral tiene como propósito disminuir y eliminar la señal de error en estado estacionario, provocado por perturbaciones exteriores las cuales no pueden ser corregidas por el control proporcional. El componente integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional.

3.2.3. Derivativa

La componente Derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error. La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce, de esta manera evita que el error incremente. Este tipo de componente suele ser poco utilizado debido a que es demasiado sensible al ruido.

3.2.4. Controlador PID

El controlador PID que se utilizó en el proyecto fue el bloque PID.VI. Este controlador compara el punto de ajuste (SP) con la variable de proceso (PV) para obtener el error (e), como se muestra en la siguiente fórmula:

$$e = SP - PV$$

Luego, el controlador PID calcula la acción del controlador, $u(t)$, de la siguiente manera. En esta ecuación K_c es la ganancia de la acción proporcional del controlador.

$$u(t) = Kc(e + \frac{1}{Ti} \int_0^t edt + Td \frac{de}{dt})$$

Si el error y la salida del controlador tienen el mismo rango, la ganancia del controlador es el recíproco de la banda proporcional. Ti es el tiempo integral en minutos, también llamado tiempo de reinicio, y Td es el tiempo derivado en minutos, también llamado tiempo derivativo. La siguiente fórmula representa la acción proporcional:

$$u_p(t) = Kc \cdot e$$

La acción integral se representa en la siguiente fórmula:

$$u_i(t) = \frac{Kc}{Ti} \int_0^t edt$$

Y finalmente la acción derivativa está representada por la siguiente fórmula:

$$u_d(t) = Kc \cdot Td \frac{de}{dt}$$

Los Vi de PID utilizan un algoritmo de corrección de suma integral que facilita el anti-windup y el control manual para la transferencia automática. Windup se produce en el límite superior de la salida del controlador. Cuando el error disminuye, la salida del controlador también lo hace, moviendo la salida del área de windup. El algoritmo de corrección de suma integral previene cambios bruscos en la salida del controlador cuando cambia del modo manual al modo automático o a cualquier otro parámetro.

Los parámetros Ti y Td se especifican en minutos. En el modo manual, se puede cambiar la entrada para aumentar o disminuir la salida.

3.2.5. Selección de los parámetros

Para definir los valores de ganancia del bloque, se utilizan diversos métodos, pero el único que demostró mejores resultados fue el método de ensayo y error, el cual consiste como primera instancia en eliminar las acciones integral y derivativa del proceso, seteando Ti al máximo

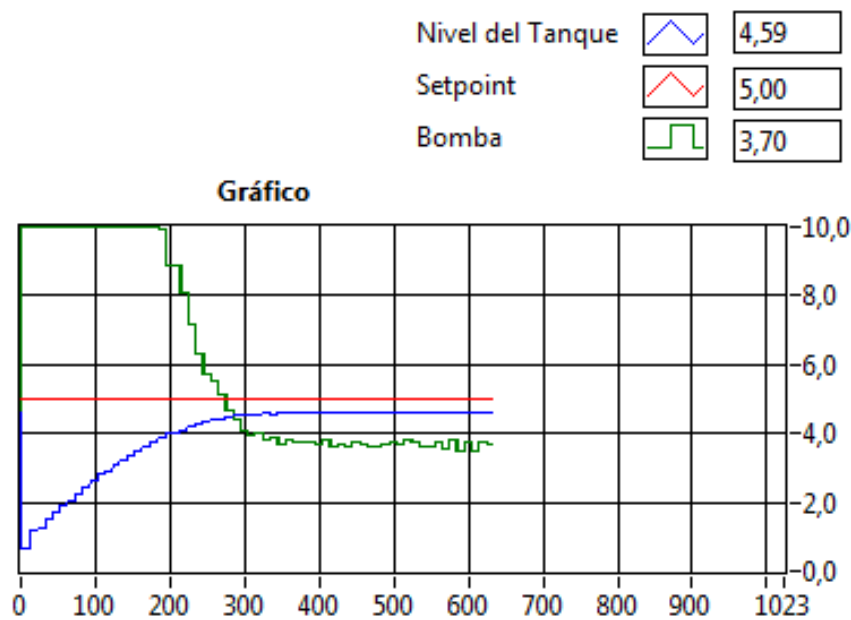
y T_d al mínimo. Luego, se debe aumentar la ganancia con pequeños incrementos hasta que la señal comience a oscilar, una vez logrado esto, se debe reducir K_c a la mitad de dicho valor, el cual en este caso resultó ser de 12. A continuación, se debe comenzar a disminuir T_i en pequeñas cantidades, hasta que al igual que la ganancia, la señal comience a oscilar, una vez lograda la oscilación se sintoniza el valor de T_i a un valor tres veces mayor, el cual en esta oportunidad fue de 60. Debido a que el proceso que se desea llevar a cabo es uno del modo PI, no se le agrega un tiempo derivativo, por lo que T_d se sintoniza con un valor de 0.

3.3. RESULTADOS

A continuación, se detallarán y visualizaran las diversas pruebas que se realizaron a la planta y los diferentes tipos de respuestas y resultados que se obtuvieron de cada uno de ellos.

3.3.1. Componentes del controlador

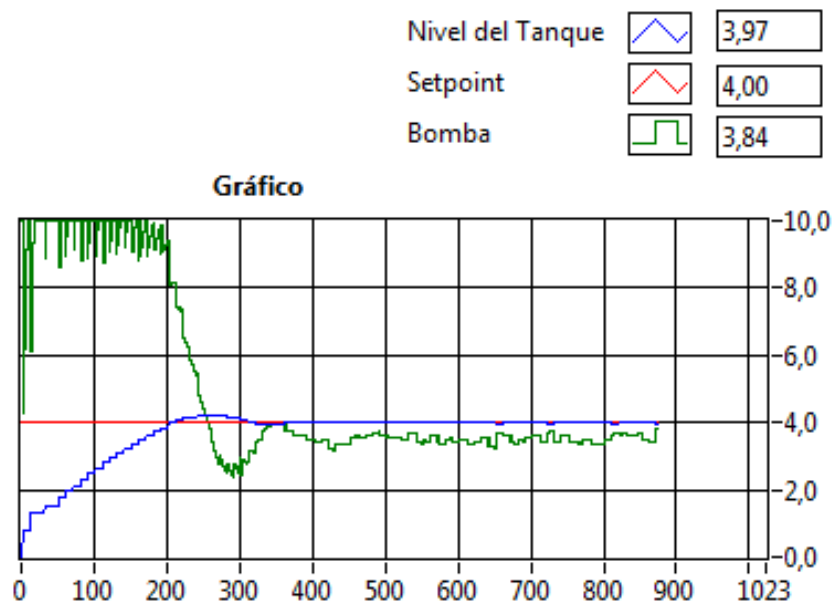
La primera prueba que se le realizó a la planta fue solo utilizar la componente proporcional para visualizar su comportamiento. Como se puede observar en la Figura 3-5 el nivel de líquido en el estanque no alcanza a llegar al Setpoint establecido.



Fuente: Elaboración propia; Realizado en LabVIEW
Figura 3-5. Componente Proporcional.

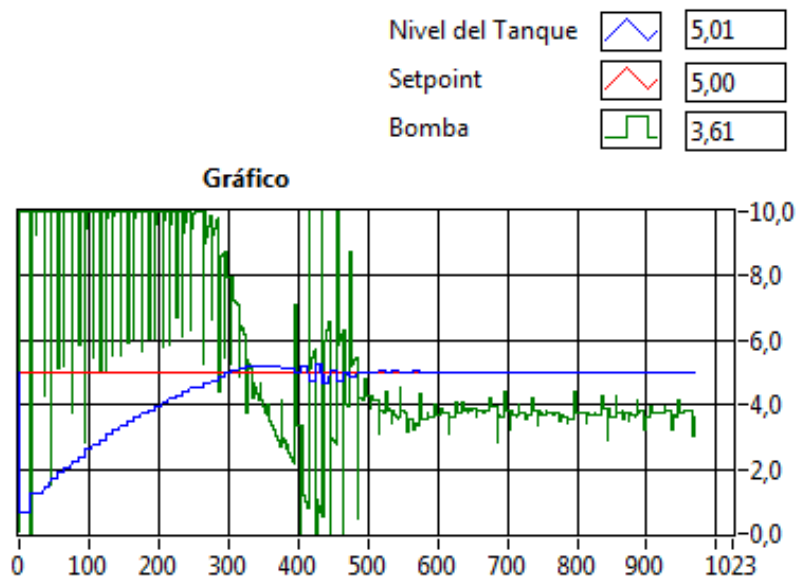
Lo siguiente que se realizó fue sumar la parte integral a la parte proporcional en la planta, se puede observar en la Figura 3-6, que el nivel del estanque llega al nivel del Setpoint establecido,

en donde unos segundos antes de llegar a este se genera una pequeña oscilación, que transcurrido un pequeño lapso se mantiene estable. Se puede observar en el gráfico que el tipo de respuesta que se obtiene es el mismo que se obtuvo al momento de graficar en MATLAB.



Fuente: Elaboración propia; Realizado en LabVIEW.
Figura 3-6. Componente Proporcional e Integral.

En la Figura 3-7 se puede observar que al momento de sumar la componente derivativa a la componente proporcional e integral el Ruido en la bomba se ve aumentado drásticamente, fue por aquella razón por la que se optó no trabajar con la componente derivativa.

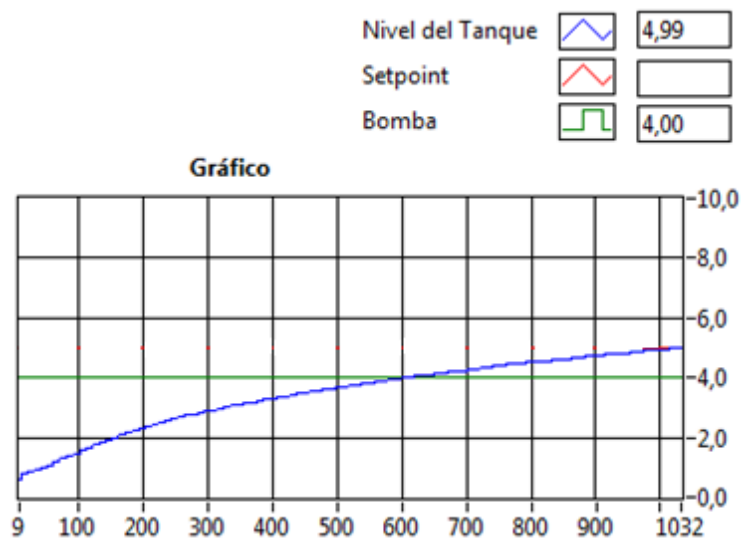


Fuente: Elaboración propia; Realizado en LabVIEW.
Figura 3-7. Componente Proporcional, Integral y Derivativa.

Observando todas las imágenes de los diferentes controladores, se logra apreciar de manera visual, que el escogido en esta oportunidad para trabajar en la planta es el más adecuado y apto, por todas las razones ya antes mencionadas.

3.3.2. Lazo Abierto

Como puede observarse en la Figura 3-8. la potencia de la bomba es definida en un valor constante, en este caso fue de 4, lo que genera que el nivel del tanque comience a aumentar paulatinamente hasta llegar a un valor en el que se mantendrá de forma constante debido a que el tiempo que toma en establecerse es muy amplio, solo se graficó la manera en que va aumentando.

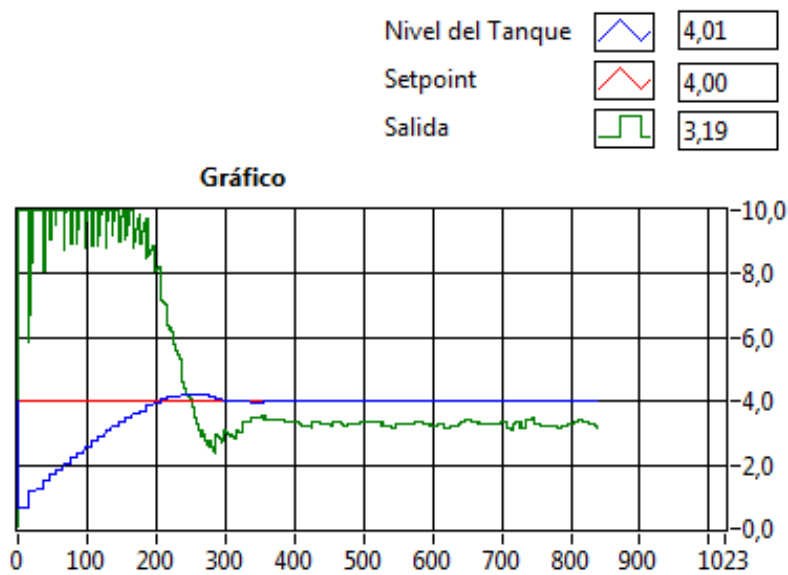


Fuente: Elaboración Propia; realizado en LabVIEW.
Figura 3-8. Control Lazo Abierto

3.3.3. Lazo Cerrado

Como se mencionó en el capítulo anterior un control en lazo cerrado es aquel en donde la acción de control está en función de la señal de salida. Estos tipos de sistemas usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control. Los parámetros que se obtuvieron en el capítulo anterior a través del método de ensayo y error son los que fueron utilizados para llevar a cabo el control a lazo cerrado. Cuando el operador define el valor del Setpoint (color rojo), en este caso de 4 litros, puede observarse en la Figura 3-9 como la bomba (color verde) comienza a trabajar al máximo hasta que el nivel del líquido (color azul) comienza a aumentar paulatinamente hasta llegar al Setpoint definido. Puede observarse además que una vez que el nivel del líquido llega al Setpoint, este presenta una pequeña oscilación por lo que la

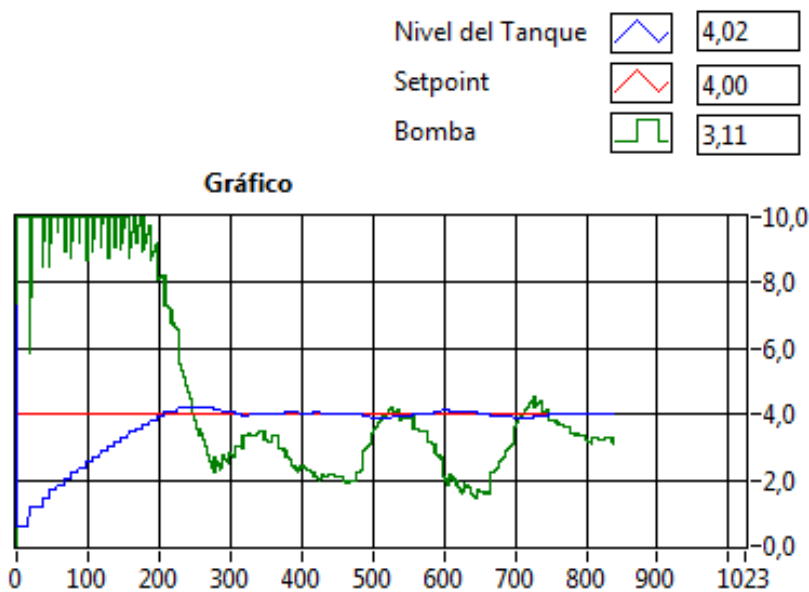
bomba disminuye la potencia de trabajo hasta quedar en un valor continuo, para que el nivel del líquido se mantenga estable.



Fuente: Elaboración propia; Realizado en LabVIEW

Figura 3-9. Control Lazo Cerrado con Setpoint

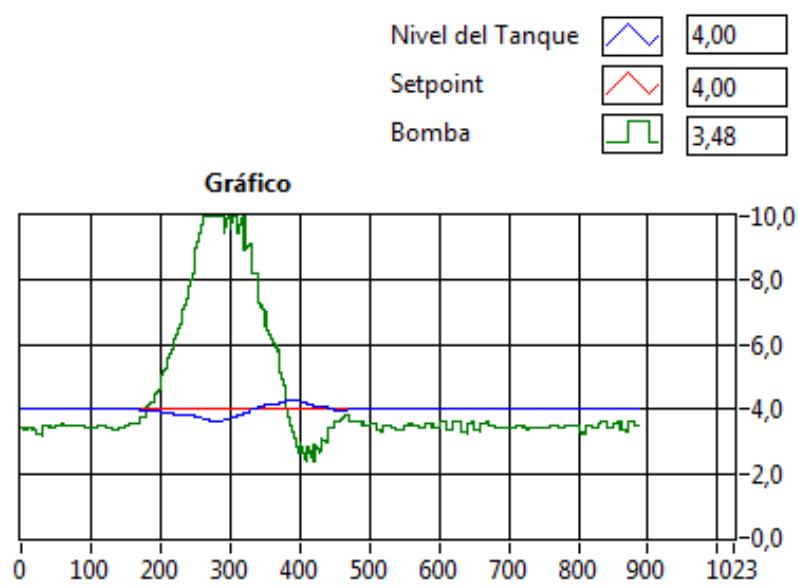
Para observar el óptimo funcionamiento del sistema, se ingresaron perturbaciones mediante el control de las válvulas manuales. El resultado obtenido en la válvula V102 mientras que la válvula V101 se mantenía abierta hasta el máximo puede observarse en la Figura 3-10, en donde se puede visualizar, que a medida que la válvula V102 se cerraba la bomba dejaba de funcionar, debido a que si seguía funcionando el nivel de estanque sobrepasaba el Setpoint establecido, y cuando esta válvula se volvía a abrir comenzaba a funcionar nuevamente, primero con una potencia alta y luego a una más estable.



Fuente: Elaboración Propia; Realizado en LabVIEW.

Figura 3-10. Perturbación con válvula V102.

Distinto ocurre con el otro caso, cuando la válvula V102 se mantiene completamente abierta y se comienza a variar la apertura de la válvula V101 se puede observar en la Figura 3-11 que, al momento de cerrar completamente la válvula, la bomba comienza a trabajar a su potencia máxima, debido a que el nivel del líquido comienza a disminuir. Cuando la válvula V101 vuelve a abrirse la bomba disminuye su potencia de trabajo y se mantiene estable hasta que el nivel del líquido nuevamente llega al valor del Setpoint establecido.



Fuente: Elaboración propia; Realizado en LabVIEW.

Figura 3-11. Perturbación con Válvula V101

3.4. FUTURAS PROYECCIONES

Con el fin de seguir con el desarrollo y mejoramiento de la planta se procede a dejar algunos consejos para quienes quieran seguir con el futuro progreso del trabajo.

Alguna de las posibles opciones sería realizar un control de nivel con el flujómetro, la válvula proporcional y el sensor de presión. En donde con el Flujómetro se puede calcular la cantidad de caudal que entra al estanque por minuto, y con estos datos realizar una conversión. Con la válvula manual ir controlando la cantidad de caudal que se ingrese al estanque. Finalmente, con el sensor de Presión realizar una función similar a la que realiza el flujómetro. A este último componente, se le podría agregar algún manómetro para poder tener un control visual sobre la presión que se encuentra presente en el sensor.

Otra opción es trabajar con una tarjeta adquisidora en lugar de utilizar el OPC server, así de esa forma se puede trabajar directamente desde el LabVIEW sin necesidad de realizar una conexión entre el PLC con el PC.

Otro problema que se generó fue con el sensor de presión, debido a que este sensor tenía un contacto directo con el líquido, cualquier movimiento, generaba que los valores escalados debían modificarse constantemente. Una solución sería cambiar el sensor de presión por uno ultrasónico.

CONCLUSIONES

La automatización y control es muy importante en los procesos industriales, por lo que, poder estudiar los diversos programas y softwares que se pueden utilizar para llevar a cabo estos procesos, es bastante beneficioso e importante, ya que a las empresas logran abaratar costos y tiempo.

En el presente proyecto, y comparando los resultados obtenidos en la planta a través de los objetivos que se asignaron, se puede concluir que el software Labview a diferencia del TIA portal, es mucho más sencillo de utilizar y de comprender su programación. Debido a que durante el periodo académico solo se llegó a estudiar superficialmente este software, fue más complejo al comienzo poder hacer uso de él, pero una vez que se realizó un estudio más profundo de los bloques, su programación fue más rápida y ligera. Una de las facilidades del TIA portal, es que contiene un bloque llamado "PID COMPACT", el cual, a través de una auto sintonización busca y genera automáticamente los parámetros del controlador PID. No así con LabVIEW, en donde se debieron buscar manualmente los parámetros y utilizar los diversos métodos que existen para lograr llegar a ellos. A pesar de que LabVIEW cuenta con un bloque PID autotuning, no se pudo utilizar debido al poco conocimiento y el escaso estudio que se le había dedicado, pero es una gran herramienta y funciona perfecto cuando se comprende los pasos que se deben llevar a cabo.

Uno de los softwares que ayuda a obtener y poder estudiar los resultados del proceso de una forma más matemática es MATLAB. Debido a que durante el periodo académico su estudio también fue superficial, se investigó a través de internet que toolkits utilizar para obtener los valores requeridos, debido al escaso tiempo que se le dedicó a MATLAB no se pudo comprender como obtener los parámetros necesarios, pero si esta herramienta se llega a estudiar más en profundo, se convierte en una gran ayuda para el estudio del proceso como ya se había mencionado anteriormente.

Otra problemática que se había mencionado en el último capítulo, es la que sucede con el sensor de nivel y los diversos cambios que este presenta, debido a que tiene contacto directo con el líquido del estanque, lo vuelve más sensible a cualquier cambio que ocurra en él, por lo que se tuvieron que modificar sus datos cada vez que este era cambiado de posición. Una de las soluciones que se utilizaron, fueron llevar su escalamiento y normalizado al TIA portal, para luego ocupar la marca y utilizarla en LabVIEW.

Explicar porque no se utilizó sensor ultrasónico

BIBLIOGRAFÍA

- «SIEMENS » 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.paratrasnet.ro/pdf/automatizari-industriale/S7-1200.pdf> [Visitado: 9 Octubre 2018].
- «National Instruments » 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/7906/es/> [Visitado: 13 Octubre 2018].
- «National Instruments » 2011. [En línea]. Disponible en: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370401H-01/lvpid/pid_autotuning_design/ [Visitado: 25 Octubre 2018].
- «MathWorks » [En línea]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html> [Visitado: 10 Noviembre 2018].
- «National Instruments » [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/es-cl/shop/labview.html> [Visitado: 10 Noviembre 2018].
- «Matrikon» [En línea]. Disponible en: <https://www.matrikonopc.es/opc-servidor/index.aspx> [Visitado: 10 Noviembre 2018].
- «Nautic» [En línea]. Disponible en: <http://pdf.nauticexpo.com/pdf/spx-flow-johnson-pump/dc-driven-circulating-pump-cm-10-30/21909-83119.html> [Visitado: 15 Octubre 2018].
- «DOS20 » [En línea]. Disponible en: <http://dos20.cl/producto/MAG-X2/> [Visitado: 15 Octubre 2018].

ANEXO

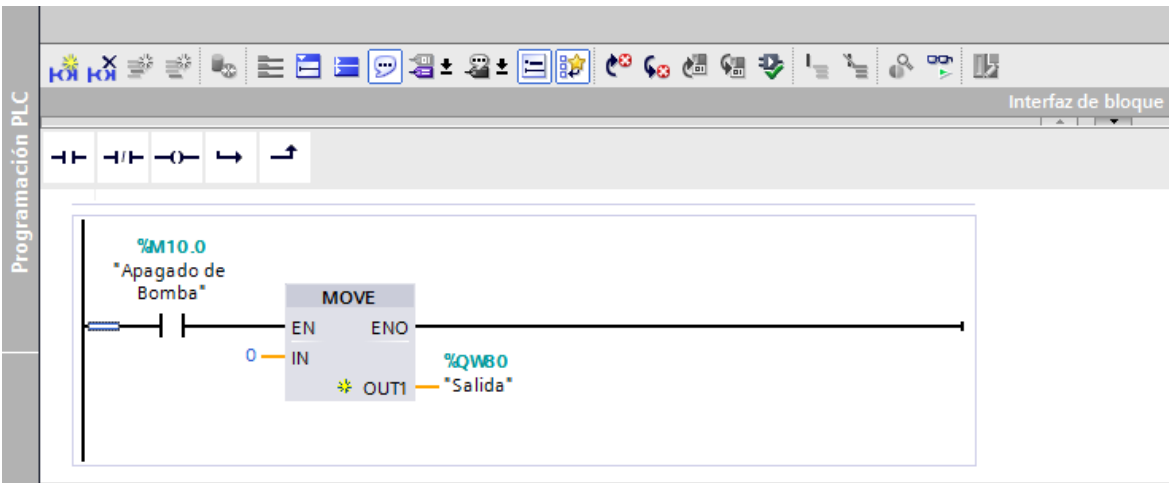
ANEXO: PROGRAMACIÓN

En esta sección se detalla la programación del PLC, explicando cada uno de los segmentos. En primer lugar, se dará a conocer la tabla de variables del PLC.

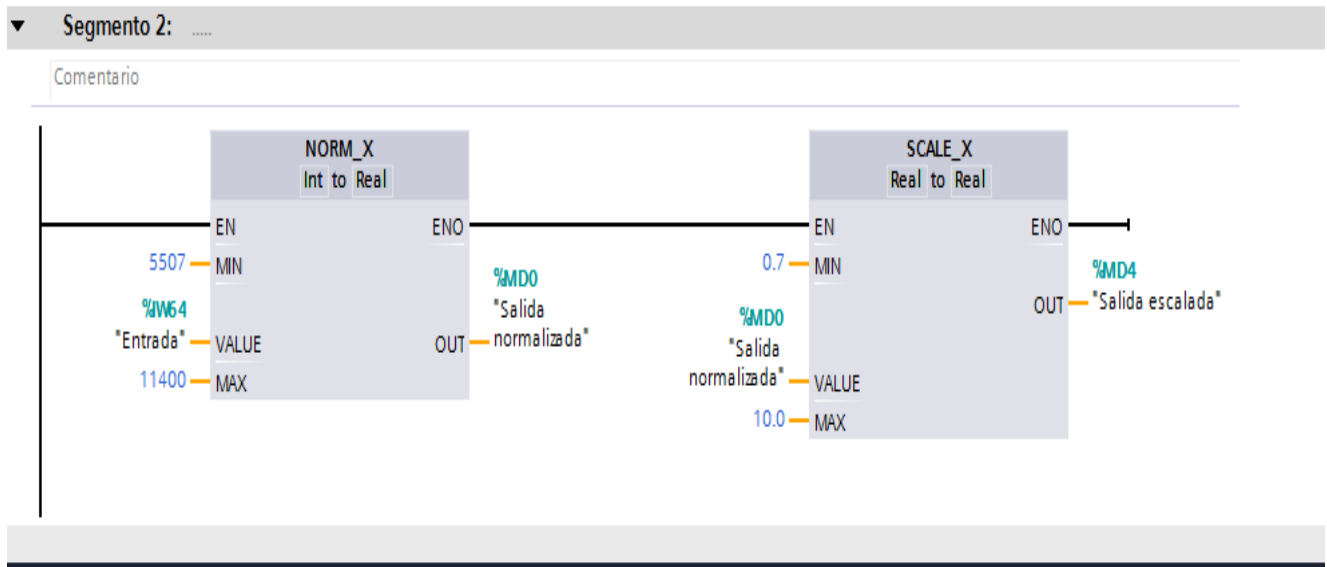
Variables							
Constantes de usuario							
Constantes de sistema							
Tabla de variables estándar							
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Comentario
1	Entrada	Word	%IW64	☐	☒	☒	
2	Salida	Word	%QW80	☐	☒	☒	
3	Salida normalizada	Real	%MD0	☐	☒	☒	
4	Salida escalada	Real	%MD4	☐	☒	☒	
5	Apagado de Bomba	Bool	%M10.0	☐	☒	☒	
6	<Agregar>			☐	☒	☒	

A continuación se darán a conocer los segmentos del programa:

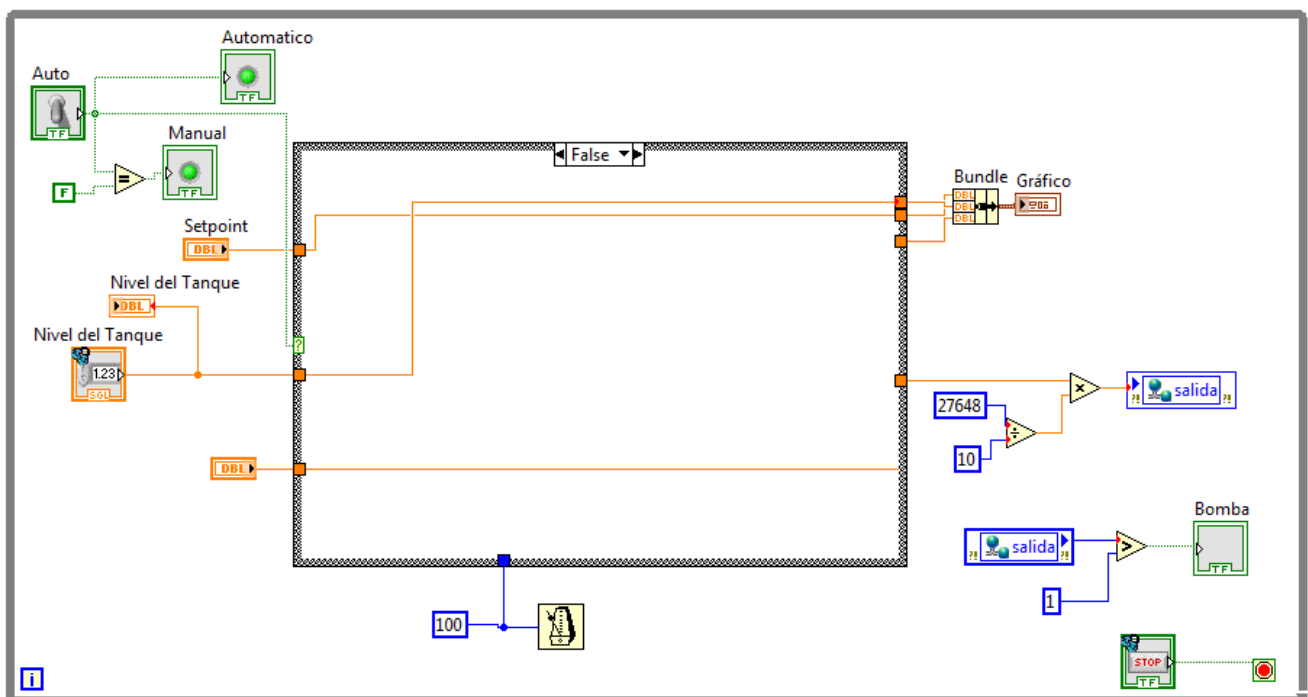
Segmento 1 (Parada): Se realiza la activación o apagado de la planta, debiendo ser desde el HMI presente en LabVIEW.



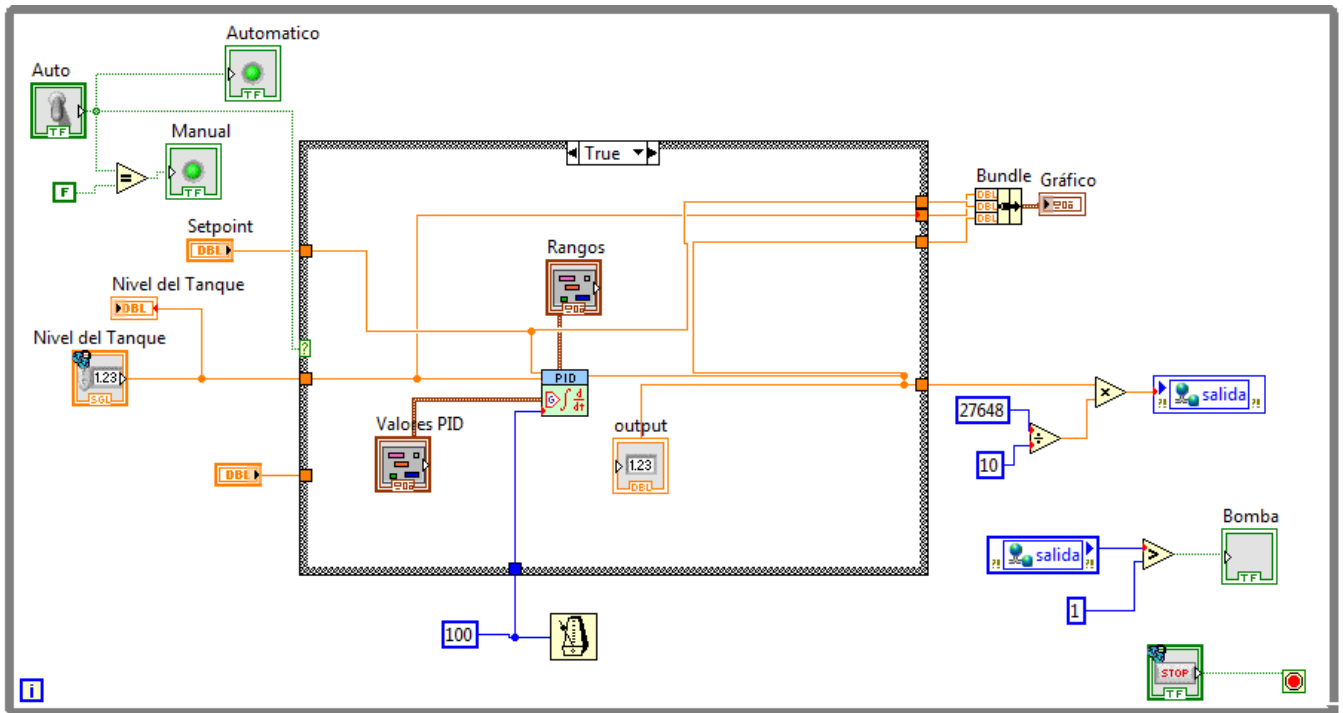
Segmento 2 (Normalizar y Escalar): Se realiza las normalizaciones y escalamiento del sensor para que pueda ser visualizada la variable de Nivel.



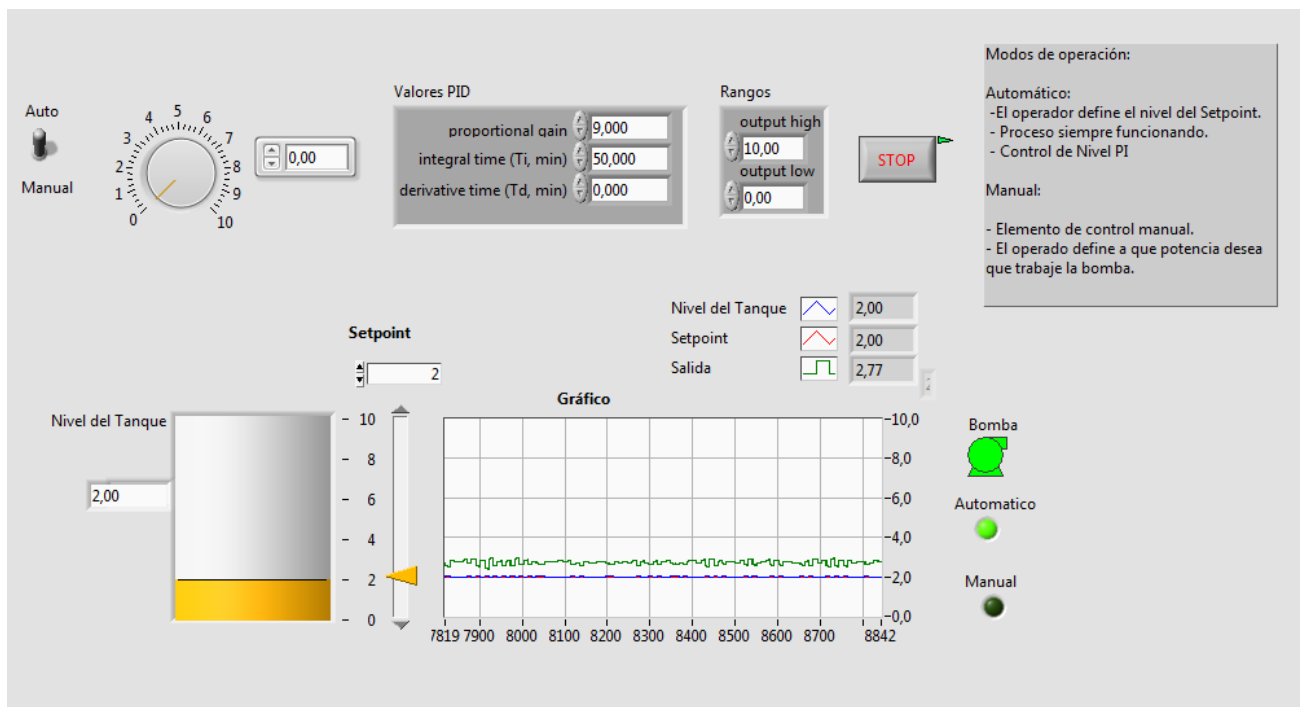
Control Manual: En esta parte el operador logra manualmente a que nivel desea que trabaje la bomba.



Control Automático: En esta parte, el operador define el nivel de liquido al cual desea que llegue la planta.



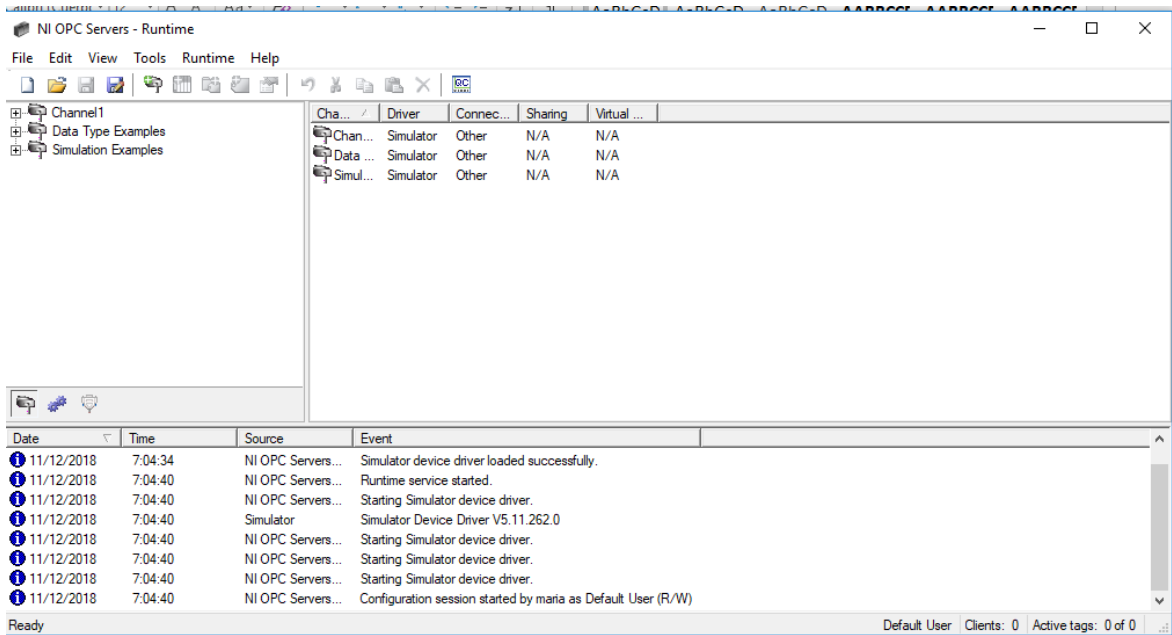
HMI:



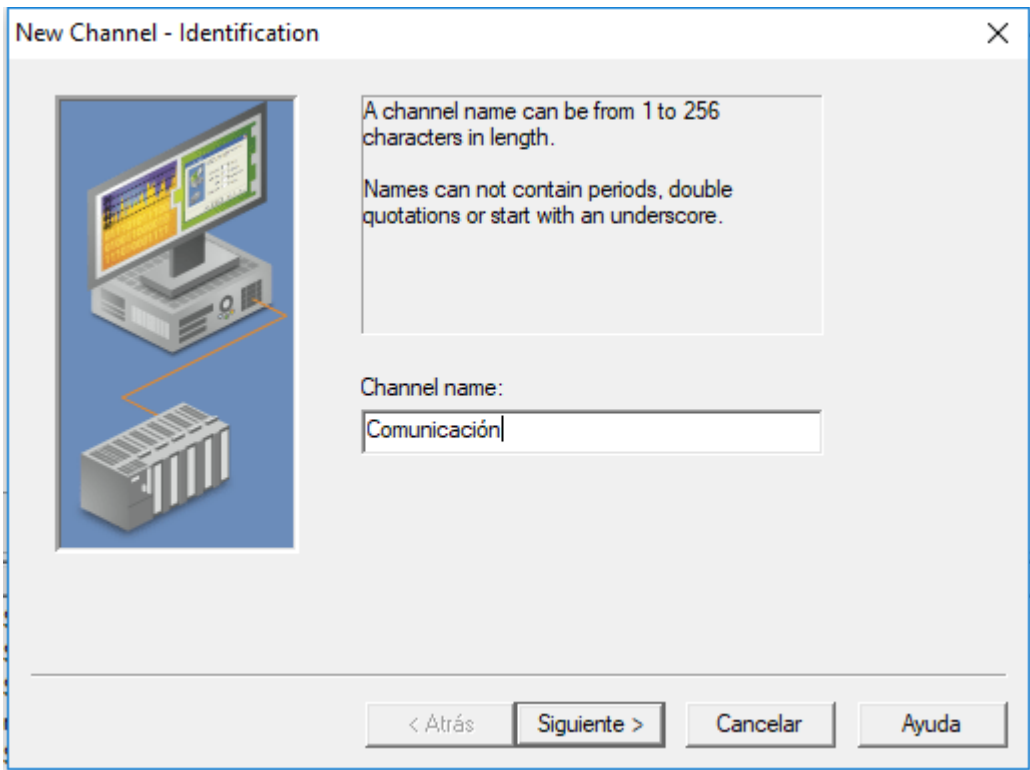
Variables: A continuación, se explicará paso a paso como se ingresaron las variables al OPC SERVER y luego trasladadas al LabVIEW.

Para lograr que LabVIEW se pueda comunicar con cualquier PLC, se debe hacer uso de un servidor OPC, donde se puedan alojar todas las variables utilizadas en el programa cargado en

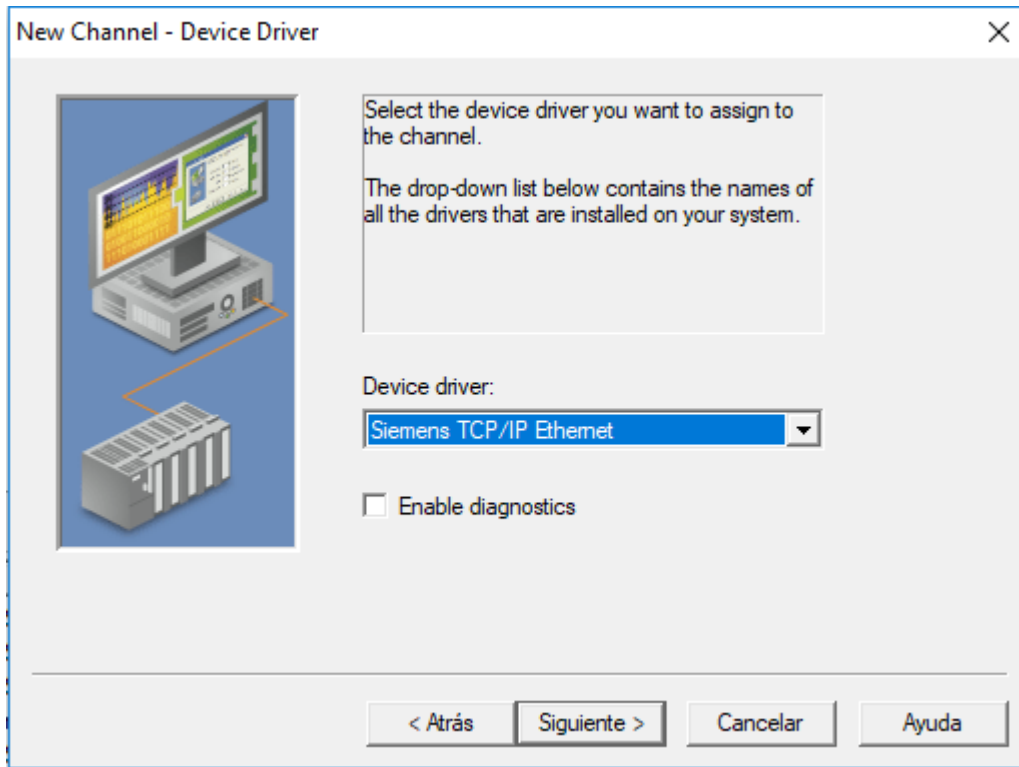
el controlador. Se destaca que en el computador debe tener instalado el módulo DSC (Datalogging and Supervisory Control). Como primer paso se debe abrir la ventana principal de NI OPC SERVER.



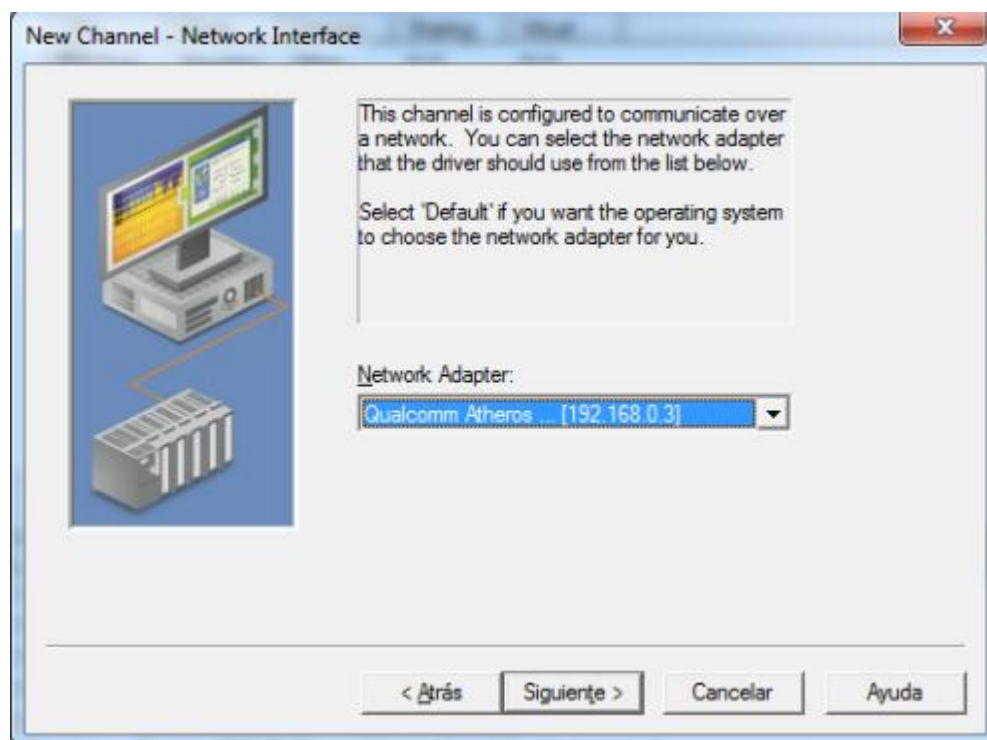
Dentro del servidor, lo primero que se debe hacer es “Crear Canal”, para lo cual debe hacer clic derecho sobre el espacio en blanco del cuadro izquierdo e insertar un “Nuevo Canal”. Este canal contiene todas las configuraciones físicas y de software que tiene la comunicación del PC con LabVIEW. En esta ventana se debe agregar un nombre ficticio a la comunicación.



Luego, se procede a configurar el tipo de comunicación que tiene el PC con el PLC. En este caso es “Siemens TCP/IP Ethernet”.

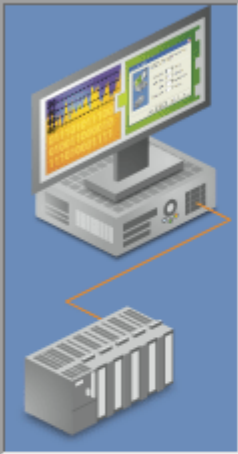


Después, Se asigna el adaptador o tarjeta a utilizar para lograr la comunicación. En este caso es “Qualcomm Atheros (192.168.0.3)”.



Luego se mantienen las configuraciones como se muestran en las siguientes imágenes.

New Channel - Write Optimizations



You can control how the server processes writes on this channel. Set the optimization method and write-to-read duty cycle below.

Note: Writing only the latest value can affect batch processing or the equivalent.

Optimization Method

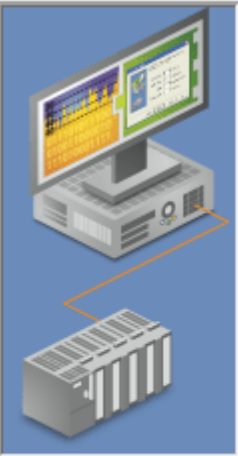
- ☐ Write all values for all tags
- ☐ Write only latest value for non-boolean tags
- ☒ Write only latest value for all tags

Duty Cycle

Perform writes for every 1 read

< Atrás Siguiente > Cancelar Ayuda

New Channel - Non-Normalized Float Handling

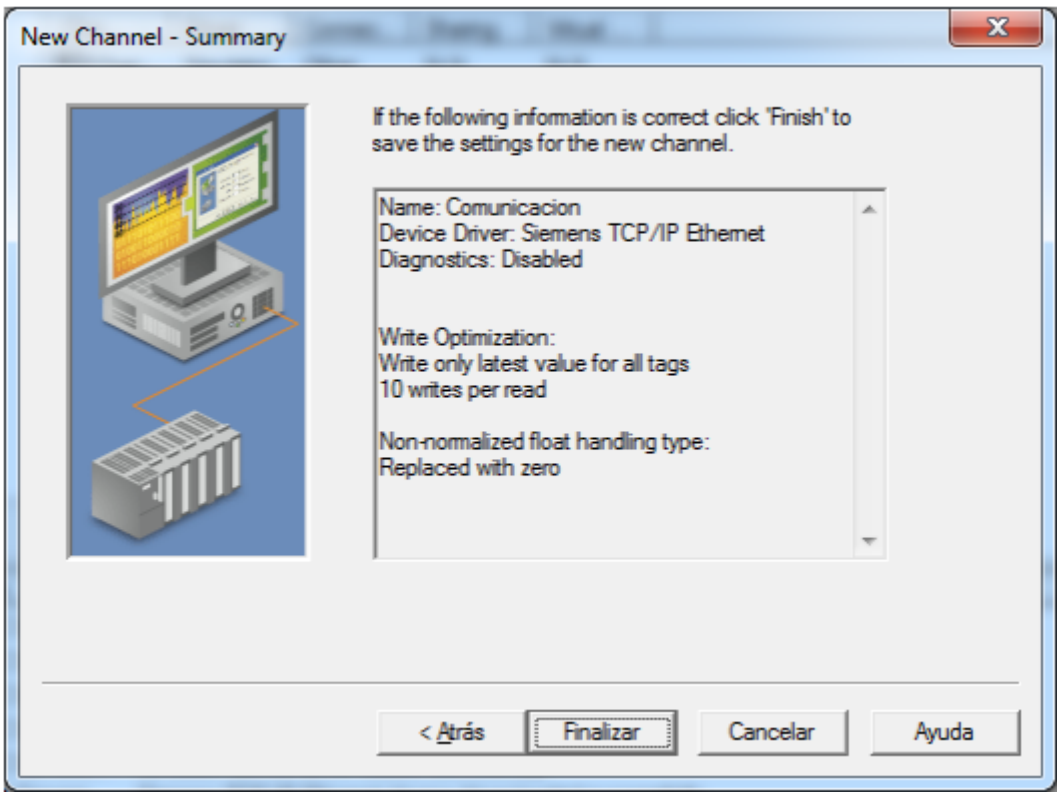


Choose how this driver handles non-normalized floating point values.

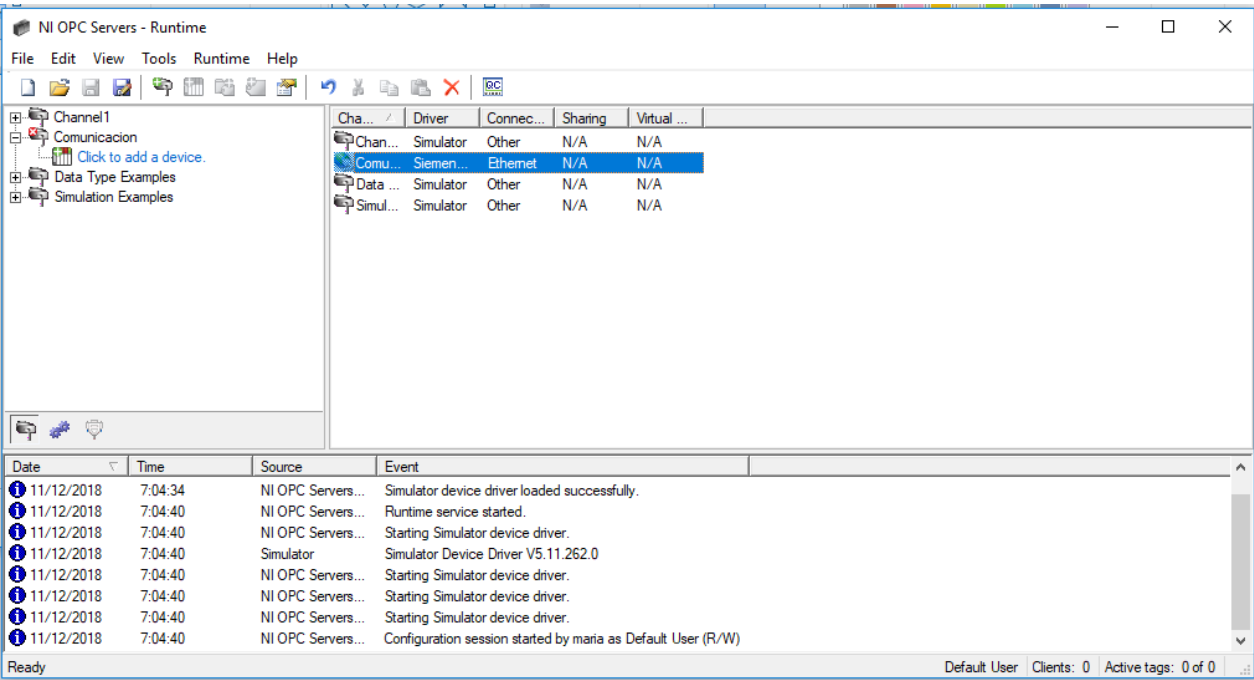
Selecting 'Unmodified' handling delivers the non-normalized value, while 'Replaced with zero' changes non-normalized floating point values to zero.

Non-normalized values should be:

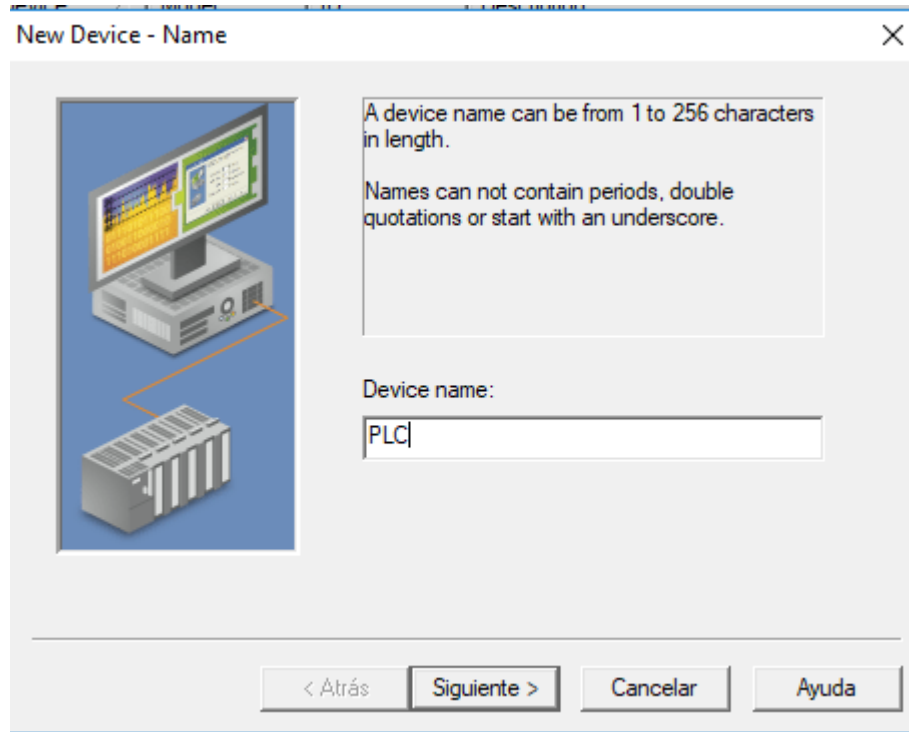
< Atrás Siguiente > Cancelar Ayuda



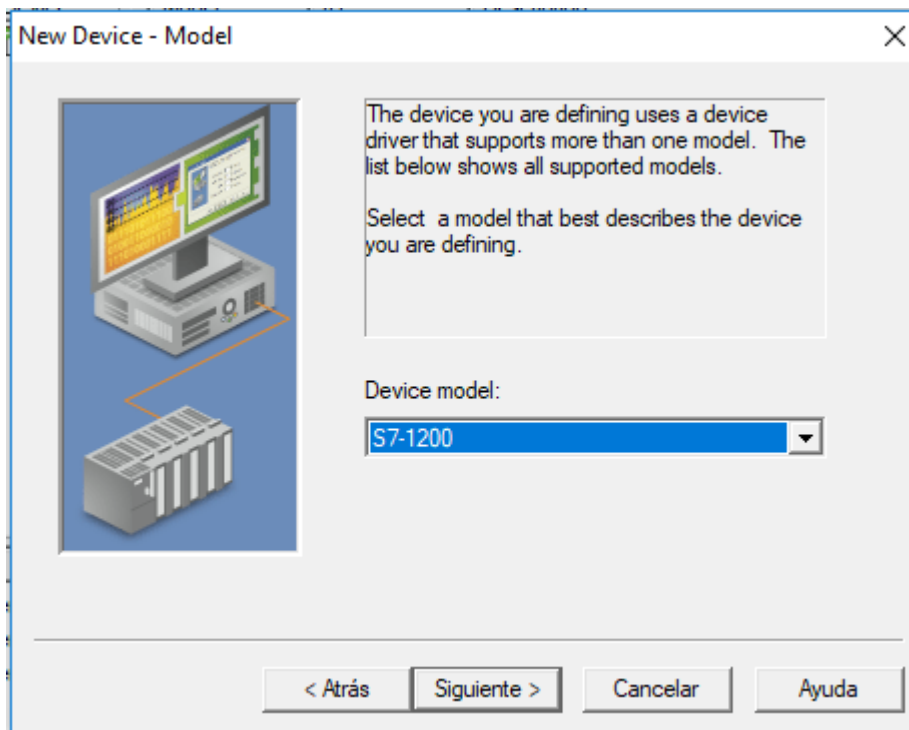
Hecho los pasos anteriores, y en la ventana que se ve en la siguiente imagen, se debe agregar todas las configuraciones relativas al PLC S7-1200.



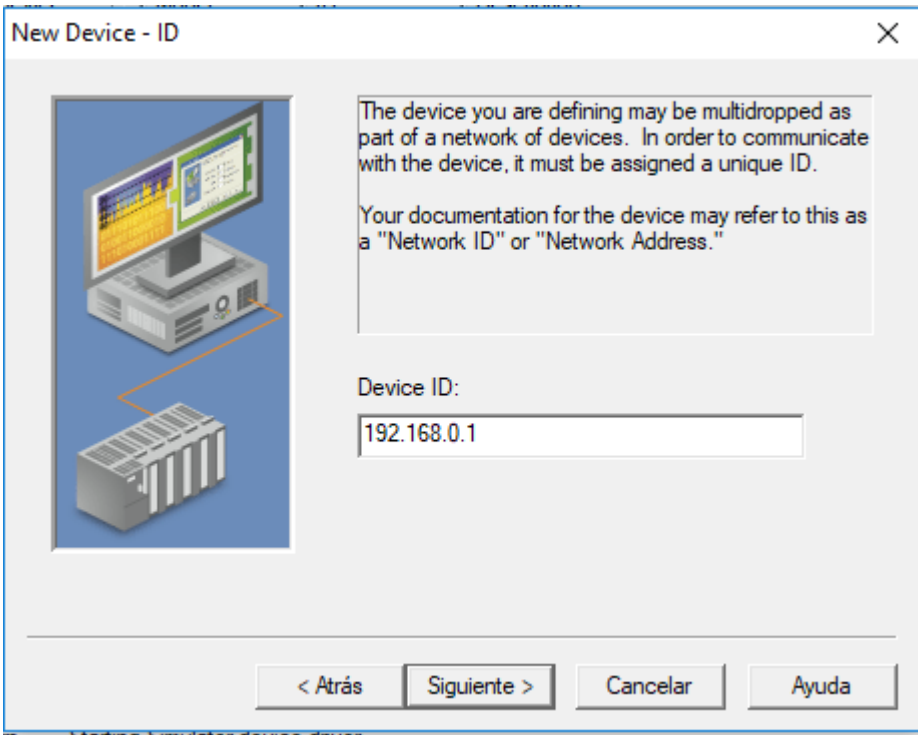
Ahora se debe hacer clic derecho sobre “Click to add a device”. Luego, aparecerá la ventana en donde se debe agregar el nombre del autómatas a utilizar. En este caso es el PLC.



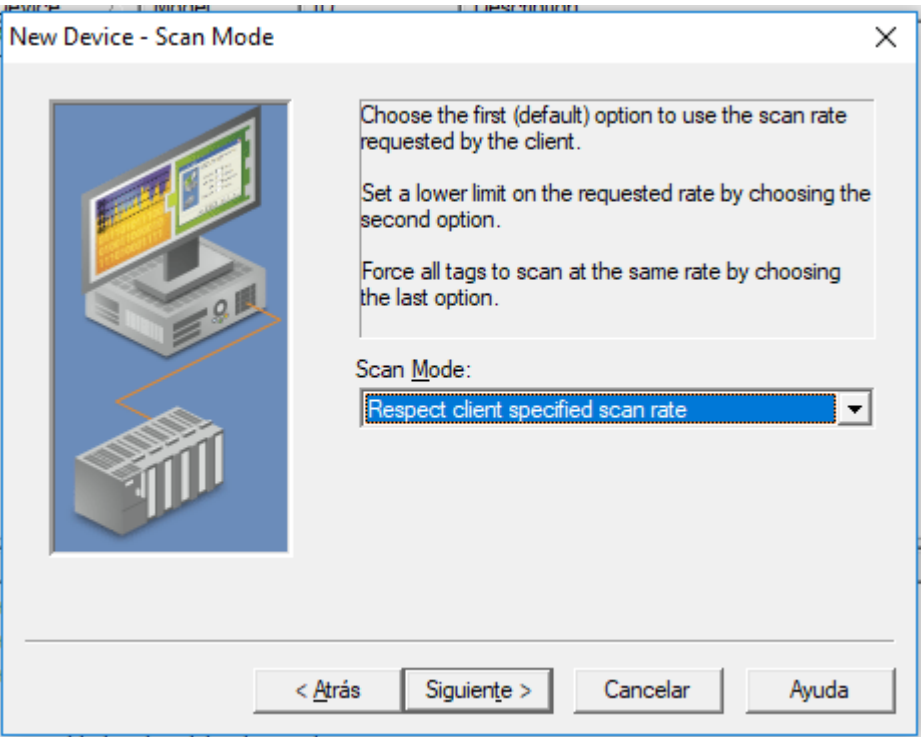
A continuación, se ingresa el modelo del PLC a usar. En este caso “S7- 1200”.



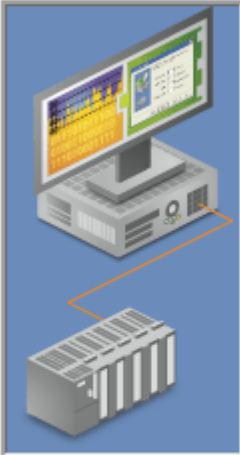
Posteriormente, se ingresa la dirección IP asignada al PLC S7-1200. En este caso “192.168.0.1”.



Luego se aplican las configuraciones por defecto que se aprecian en las siguientes figuras.



New Device - Auto-Demotion



You can demote a device for a specific period upon communications failures. During this time no read request (writes if applicable) will be sent to the device. Demoting a failed device will prevent stalling communications with other devices on the channel.

☐ **Enable auto device demotion on communication failures:**

Demote after successive failures

Demote for milliseconds

☐ Discard write requests during the demotion period

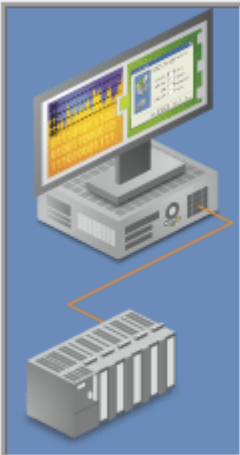
< Atrás

Siguiente >

Cancelar

Ayuda

New Device - Communications Parameters



Set the TCP/IP port number the device is configured to use. The default for CP communications is 102 (TSAP). The default for NetLink communications is 1099.

Enter the device's MPI ID (0 - 126) for NetLink models.

Port Number:

MPI ID:

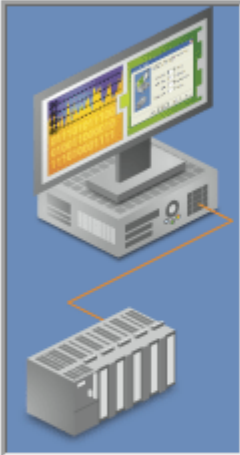
< Atrás

Siguiente >

Cancelar

Ayuda

New Device - S7 Comm. Parameters



S7-300/S7-400/S7-1200: Set the type of connection link to be used in communications. Also, enter the rack number and slot the CPU resides in.

S7-200: Set the Local (PC) and Remote (Device) TSAP for this device connection.

S7-200

Local TSAP (hex):

Remote TSAP (hex):

S7-300/S7-400/S7-1200

Link Type:

CPU Settings

Rack (0 - 7):

CPU Slot (1-31):

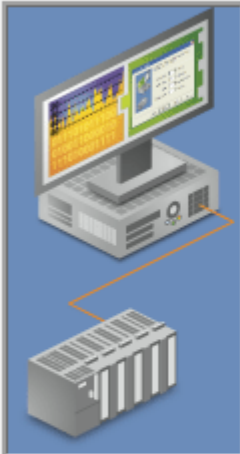
< Atrás

Siguiente >

Cancelar

Ayuda

New Device - Addressing Options



Select the byte order for 16 and 32 bit values. Big Endian (Motorola) is the default byte order for the Siemens S7 controllers. Little Endian (Intel) is available as an option.

Byte Order

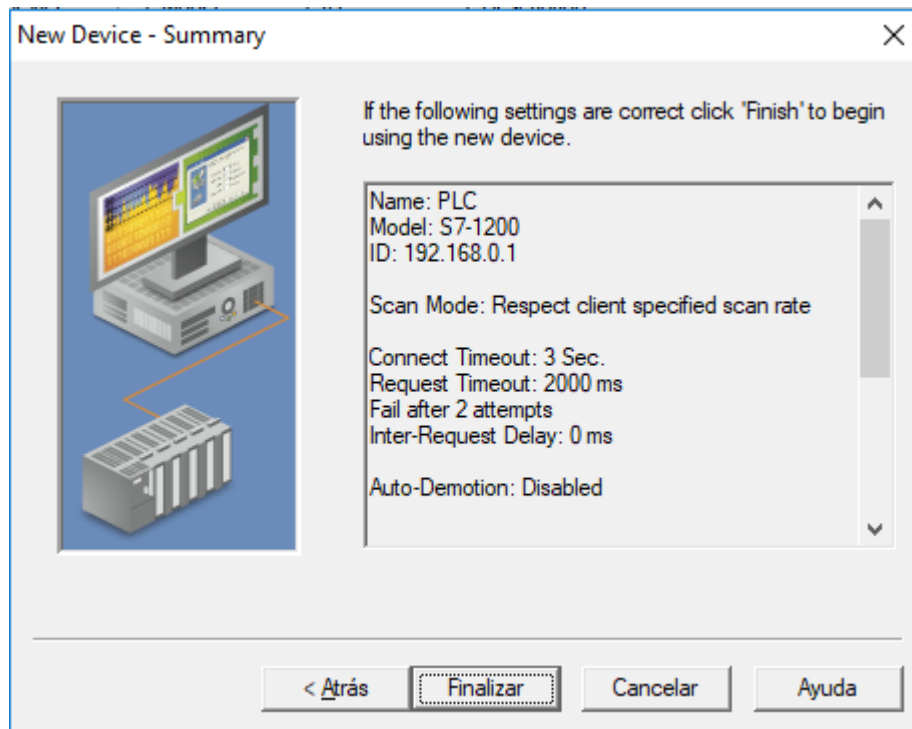
☒ Big Endian (S7 Default) ☐ Little Endian

< Atrás

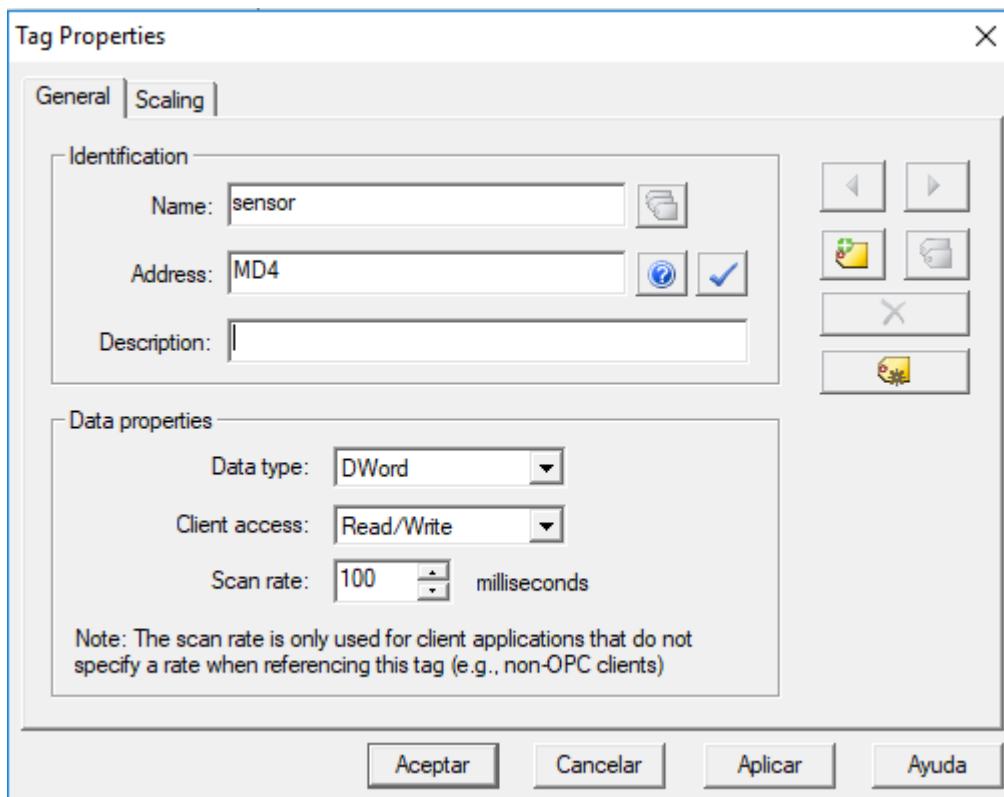
Siguiente >

Cancelar

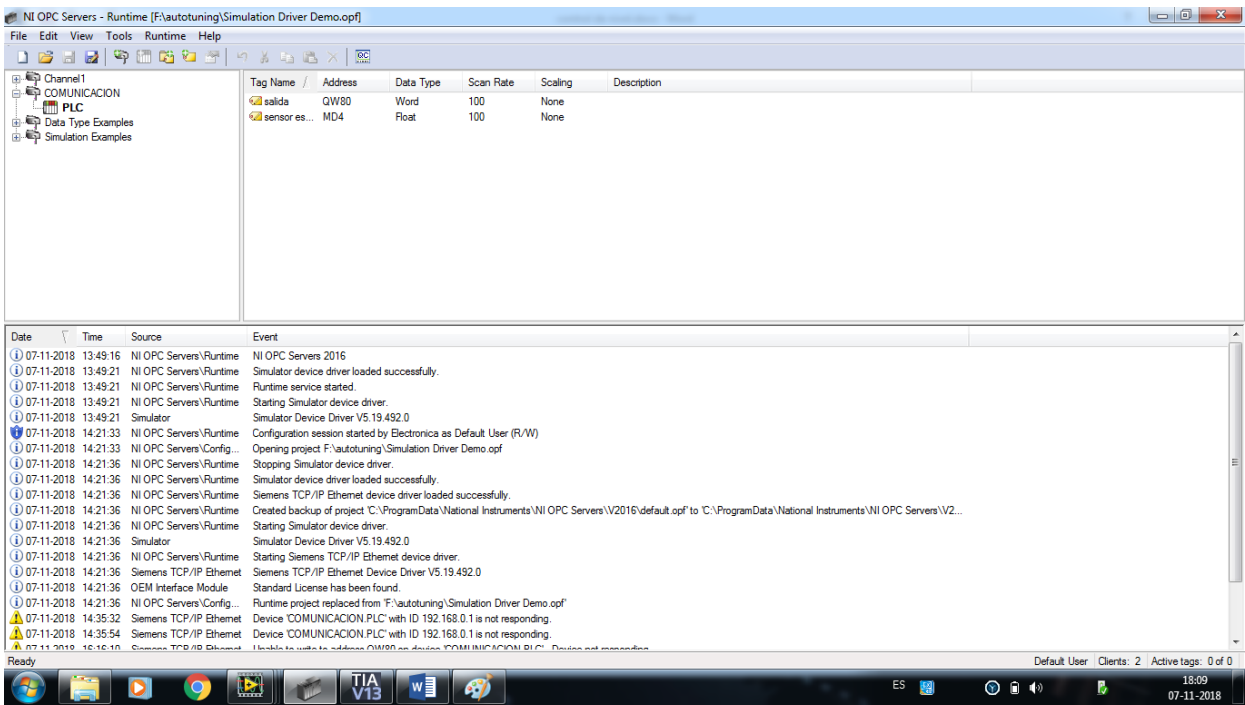
Ayuda



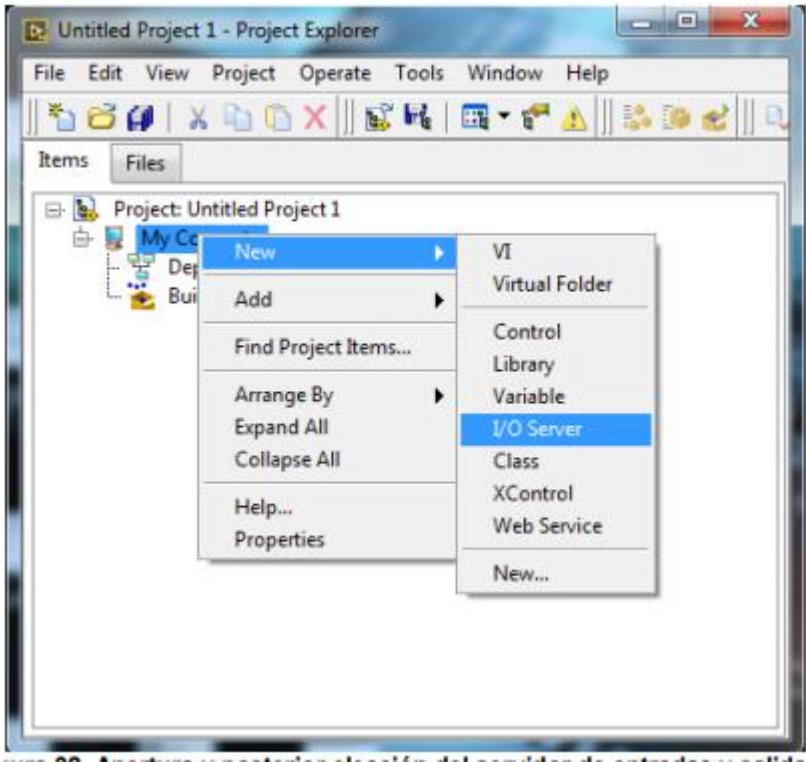
Ahora, se debe agregar una a una las variables declaradas en el TIA PORTAL V13 y con las que se desea trabajar en LabVIEW, Las cuales se llaman tag en el OPC SERVER. Para agregar la variable se debe hacer doble clic en el texto que dice “Click to add a static tag”. En este recuadro se de ingresar el nombre de la variable y su dirección, finalmente se hace clic en el visto para actualizar los datos ingresados. Finalmente se debe hacer clic en finalizar.



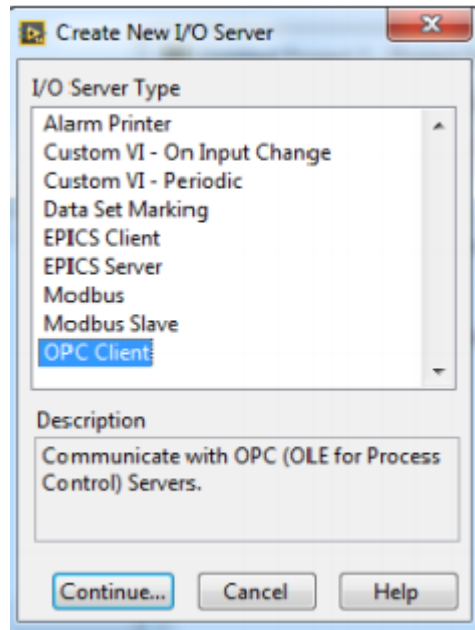
Se debe realizar este procedimiento para cada una de las variables a utilizar.



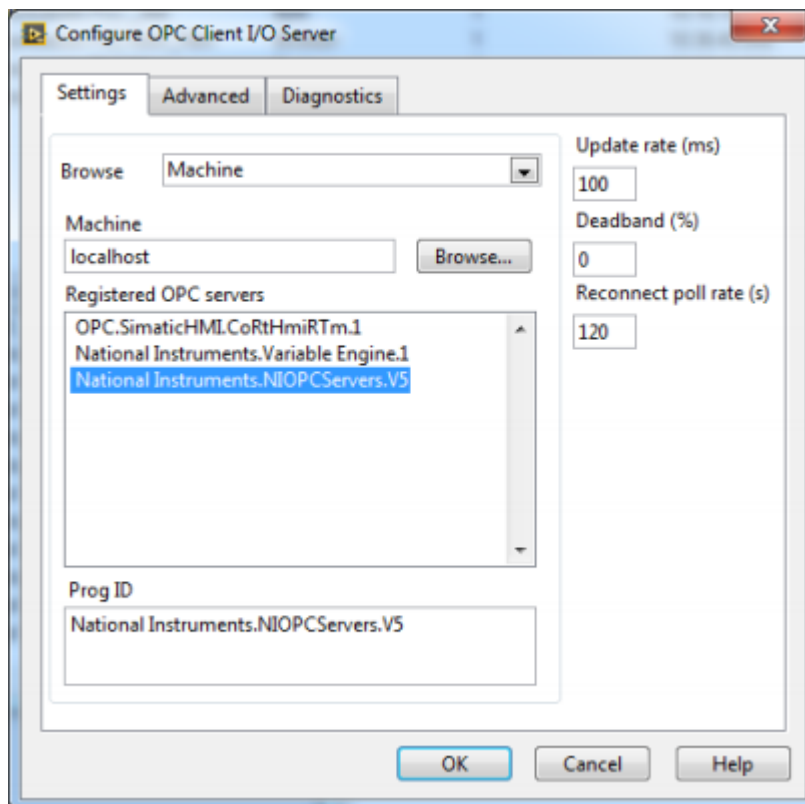
Una vez realizado los pasos anteriores se procede a abrir LabVIEW 2013, y se presiona sobre “Create Project” para poder generar un proyecto y finalmente hacer clic sobre “Blank Project” para generar un proyecto en blanco. En la siguiente figura se debe hacer clic sobre “My Computer- New- I/O Server” para poder trasladar cada uno de los tags` del servidor hacia LabVIEW.



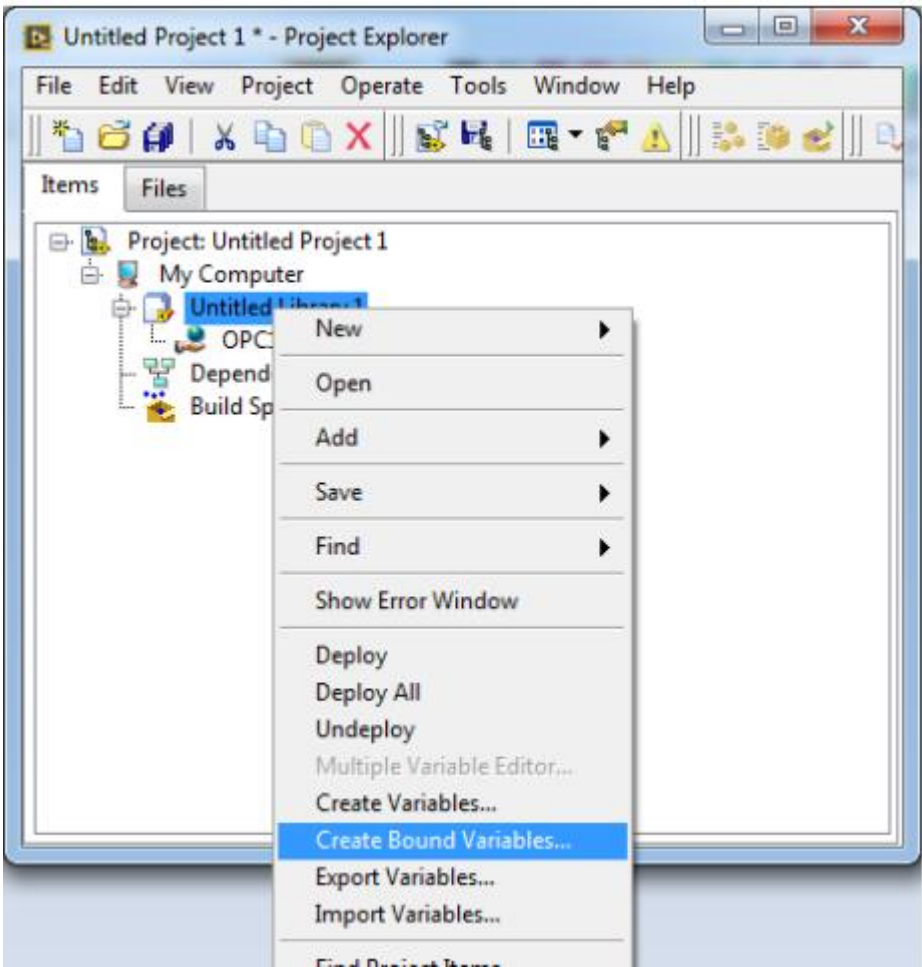
Luego se selecciona Cliente OPC y se debe hacer clic en continuar.



A continuación, se selecciona “National Instruments. NIOPCServers.V5, que es el servidor que esta almacenando cada uno de los tags` s definidos anteriormente.



Una vez se termina estos procesos, sobre la ventana de la siguiente imagen se debe ubicar en “Untitled Library” y luego realizar clic derecho sobre “Create Bound Variable”.



En la siguiente ventana aparecerán todos los tags agregados y se deben seleccionar todos los que se desean trasladar.

Como ultimo paso se debe generar un nuevo VI, para poder crear la variable en LabVIEW se deben realizar los pasos que se muestran en la siguiente figura.

