



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Automatización de planta de tercer orden para el
control del nivel de agua en tanque mediante sistemas
embebidos y el software LabView.**

Autor(es)

Juan Carlos Lopera Álvarez

John Anderson Roman Agudelo

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES**

OCTUBRE DE 2019



Contenido

Tabla de Figuras	4
Resumen.....	4
Introducción.....	5
Objetivos.....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos	6
Planteamiento del problema	7
Marco Teórico	7
1 – Sensores	7
1.1 - Sensores de nivel	7
1.2- Sensores de Flujo	9
2 – Sistema SCADA	10
3 - Comunicación RS-485.....	11
4 – Microcontroladores	13
Microcontroladores PIC.....	13
5 - Instrumentación virtual con LabView.....	16
6 - Servidores OPC.....	16
Metodología.....	17
1. Pasos, peticiones, demandas y demás requerimientos del proceso para el desarrollo, control y supervisión el sistema.	17
2. Diseño e implementación de una red de sensores basada en un protocolo de comunicación serial multipunto RS-485.....	19
3. Diseño e implementación de un controlador maestro y una interfaz de control y monitoreo (SCADA) en el software LabView	33
4. Diseño e implementación de una interfaz de comunicación con PLC mediante servidor OPC.....	37
5- Validación de la operación del sistema mediante la implementación de un controlador simple y visualización de los procedimientos de trabajo y el modo de operación del modelo terminado.	42
Resultados y análisis	46
Conclusiones	47
Referencias Bibliográficas	47

Tabla de Figuras

Figura 1: Principio de operación de un sensor de nivel ultrasónico. [2].....	8
Figura 2: Arquitectura básica de un sistema SCADA. [8].....	11
Figura 3: Configuración Maestro - Esclavo.....	12
Figura 4: Esquema general de un microprocesador. [12].....	13
Figura 5: Estructura Servidor OPC	16
Figura 6: Interfaz gráfica del sistema tratado.....	18
Figura 7: Microcontrolador PIC16f1823.	25
Figura 8: Circuito para el bus de comunicación serial con driver MAX485.....	26
Figura 9: Circuito de potencia con MOC302 para control de motobomba.	26
Figura 10: Motor monofásico de baja potencia.....	27
Figura 11: Algoritmo implementado en LabView.....	34
Figura 12: Estructura correspondiente a uno de los sensores de nivel.....	35
Figura 13: Estructura correspondiente a uno de los sensores de flujo.	36
Figura 14: Paso 1 para la configuración del servidor OPC	37
Figura 15: Paso 2 para la configuración del servidor OPC	38
Figura 16: Paso 3 para la configuración del servidor OPC.....	38
Figura 17: Paso 4 para la configuración del servidor OPC.....	39
Figura 18: Paso 5 para la configuración del servidor OPC.....	39
Figura 19: Paso 6 para la configuración del servidor OPC.....	40
Figura 20: Paso 7 para la configuración del servidor OPC.....	40
Figura 21: Paso 8 para la configuración del servidor OPC.....	41
Figura 22: Paso 9 para la configuración del servidor OPC.....	42
Figura 23: Controlador simple implementado.	43
Figura 24: Interfaz gráfica de monitoreo de la planta.	43
Figura 25: Planta en funcionamiento.....	44
Figura 26: Sensor de nivel montado en la planta.	44
Figura 27: Sensor de flujo montado en la planta.	45
Figura 28: Tarjeta encargada de dar la orden de control.....	45
Figura 29: Esquemático para el monitoreo y control de la planta.....	46

Resumen

Este proyecto consistió en el diseño y la implementación de una red SCADA compuesta por un sistema embebido de 6 tarjetas de adquisición de datos y una interfaz gráfica en el software LabView, que monitorea y controla un sistema de tanques de tercer orden comunicados por tecnología cableada Modbus rs-485.

A tres tarjetas se le adaptaron sensores de nivel ultrasónicos HC-SR04 ubicados en la parte superior de cada tanque, y en las otras tres tarjetas, sensores de flujo YF-S201 ubicados entre el sistema de tuberías que comunica los tanques.

El desarrollo del programa en LabView presentó grandes ventajas ya que sobre este se pudo manejar todos los datos sin que se tuviera que realizar mucho procesamiento en los microcontroladores siendo esto de gran ventaja para que a la hora de realizar algún cambio o alguna actualización al proyecto, esta se pueda llevar a cabo sin complicaciones solo modificando el software.

Como resultado del proyecto, se logró tener un sistema funcional, pese a las limitaciones de este, donde la interfaz en LabView le permite al usuario monitorear tanto el flujo como el nivel de agua en los tanques en tiempo real y controlar mediante un controlador simple ON-OFF el nivel de agua de uno de los tanques puesto que solo se podía ejercer control sobre la motobomba y no sobre las válvulas (trabajo que se tendrá como pendiente para posteriores proyectos); además se realizó la interfaz de comunicación de un PLC Siemens S7-1200 mediante un servidor OPC utilizando NI OPC server.

Introducción

La teoría de control es una herramienta que en la actualidad es indispensable tanto para la industria, como para la investigación. Su implementación permite ventajas como la disminución de consumo de recursos, puesto que esta busca la forma más óptima de alcanzar una referencia, mediante acciones de control, que de realizarse de forma manual resultan difíciles o hasta imposibles.[1]

El presente proyecto busca la realización de un sistema de control cuyas variables de interés son el nivel de tres tanques y volumen de agua que pasa a través de estos: El primer tanque (A), que se encuentra en un nivel más alto, entrega agua al segundo tanque (B) que a su vez surte de líquido el tercer tanque (C) con el que se encuentra en paralelo. La única entrada es la acción de una motobomba que realimenta el fluido hacia el tanque en cascada (A). Todo el sistema será monitoreado y controlado empleando como herramienta gráfica el software LabView y sistemas embebidos. El sistema será capaz de medir, tanto el nivel del líquido en los tanques mediante sensores de ultrasonido, como el flujo de agua a través de los tubos mediante sensores de flujo.

El propósito de este proyecto, es que funcione como instrumento de aprendizaje para las asignaturas del área de automatización y control, que ayude a mostrar, de forma práctica, los conceptos teóricos aprendidos en esta línea de profundización y que a su vez, incentive el interés de los estudiantes, mediante una plataforma didáctica de fácil manejo.

El alcance de este proyecto está limitado por el actuador, que en este caso es la motobomba, puesto que es la única acción de control que se tendrá en cuenta, lo cual hace imposible, mediante técnicas de control clásico, dominar de manera simultánea los tres estados, que corresponden a las alturas de los tanques. Adicionalmente, el sistema cuenta con unas válvulas manuales, que no se tendrán en cuenta para el modelado del sistema, por lo cual pueden actuar como ruido, lo que necesariamente no es un problema, puesto que sus variaciones intencionales permitirían demostrar la robustez del controlador.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar una plataforma didáctica que permita el control y automatización de una planta de nivel de tercer orden mediante red de sensores e instrumentación virtual.

Objetivos Específicos

1. Establecer los pasos, las peticiones, las demandas y demás requerimientos del proceso para desarrollar, controlar y supervisar el sistema.
2. Diseñar e implementar una red de sensores basada en un protocolo de comunicación serial multipunto como RS-485.
3. Diseñar e implementar un controlador maestro y una interfaz de control y monitoreo (SCADA) en el software LabView.
4. Diseñar e implementar una interfaz de comunicación con PLC mediante servidor OPC.
5. Validar la operación del sistema mediante la implementación de un controlador simple y elaborar documentos donde se establezcan los procedimientos de trabajo y el modo de operación del modelo terminado.

Planteamiento del problema

En el sector industrial existen diferentes protocolos, interfaces y tecnologías para la comunicación entre dispositivos, entre los más comunes se encuentran: EIA RS-485, Ethernet y RS - 232. La característica común entre estos estándares, es que se implementan sobre sistemas alámbricos, es decir, utilizan medios confinados para llevar la información de un punto a otro.

El Laboratorio de Automática de los departamentos de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Antioquia, en su sección para estudiantes de ingeniería eléctrica, cuenta con un sistema de tres tanques, al que se le quiere implementar un sistema que permita controlar el nivel de agua en cualquier instante.

Con la intención de formar parte en el proceso de aprendizaje de los estudiantes del Alma Mater en las áreas de automatización y control, el problema que motivará este trabajo, será la implementación, en primera instancia de una red de sensores de nivel y de flujo que actuarán como esclavos y estarán enlazados por medio de una comunicación RS-485 con su maestro que a la vez permitirá el monitoreo constante del estado del sistema a través de una interfaz gráfica en el software Labview; además se establecerá una comunicación con un PLC mediante un servidor OPC.

Marco Teórico

1 - Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, Flujo, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

1.1 - Sensores de nivel

El sensado de nivel es muy importante en la industria para el funcionamiento correcto de los diferentes procesos que involucren líquidos o sólidos. Las diferentes formas en las que, los sensores de nivel de líquido trabajan, pueden ser: comparando la altura de líquido con una línea de referencia, midiendo la presión hidrostática,

determinando el movimiento generado en un flotador por el líquido contenido en el tanque del proceso, empleando propiedades eléctricas del fluido o utilizando otros fenómenos.

Para el caso, el sensor de ultrasonido se basa en el envío de un impulso ultrasónico, hacia un objeto deseado y este pulso es reflejado y captado por el mismo sensor, con un determinado retardo, lo que permite identificar la distancia hasta el objeto, empleando la relación $h = vt/2$ [2].

Siendo:

h = nivel del líquido

v = velocidad del sonido en el líquido

t = tiempo de tránsito del sonido.

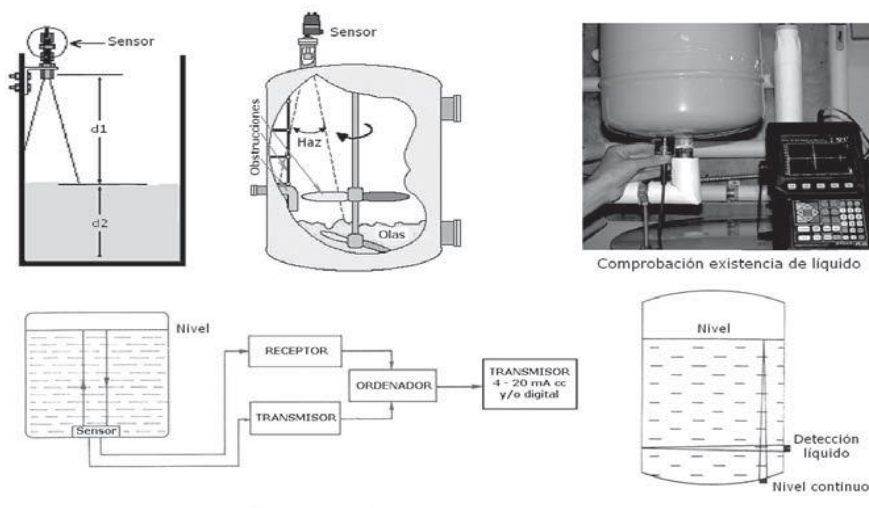


Figura 1: Principio de operación de un sensor de nivel ultrasónico. [2]

El sensor HC-SR04, sensor de proximidad de bajo costo que utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto en un rango de 2 a 450 cm. Destaca por su pequeño tamaño, bajo consumo energético, buena precisión.

El sensor HC-SR04 posee dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos, además de la electrónica necesaria para su operación. El funcionamiento del sensor es el siguiente: el emisor piezoeléctrico emite 8 pulsos de ultrasonido (40KHz) luego de recibir la orden en el pin TRIG, las ondas de sonido viajan en el aire y rebotan al encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, luego el pin ECHO cambia a Alto (5V) por un tiempo igual al que demoró la onda

desde que fue emitida hasta que fue detectada, el tiempo del pulso ECO es medido por el microcontrolador y así se puede calcular la distancia al objeto.[3]

1.2- Sensores de Flujo

La medición del caudal se puede hacer de diferentes maneras dependiendo del material al que se le quiera hacer la medida. Las diferentes formas en las que, los sensores de flujo trabajan, pueden ser: los que están basados en la ecuación de Bernoulli que establece que la suma de energía cinética más la energía potencial de altura más la energía potencial debido a la presión que tiene un fluido permanece constante, los que están basados en la Ley de Faraday, de la cual se deduce que en un conductor en movimiento en un campo magnético constante inducirá un voltaje que será proporcional a la velocidad de movimiento del conductor y a su longitud, los que se basan en el uso de piezas rotantes que son impulsadas por el flujo del fluido, (tales como hélices empujadas por el fluido) y giran a una velocidad proporcional al caudal del fluido circulante, caudalímetros por ultrasonido, entre otros.[4]

El sensor de flujo YF-S201 está diseñado en base de plástico sólido, es adecuado para un tubo estándar de 1/2 pulgada y se puede insertar fácilmente en un sistema de tuberías estándar; cuenta con un rotor de agua, conformado por un pequeño molino de viento, este tiene un pequeño imán atado y hay un sensor magnético de efecto Hall en el otro lado del tubo que registra cada vuelta dada por el molino de viento, esto genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo. Este sensor utiliza unas aspas o álabes para medir la cantidad de líquido que se ha movido a través del interior del dispositivo, el sentido en que pasa el agua debe ser de izquierda a derecha, como indica la flecha. Al contar los pulsos de la salida del sensor se puede seguir fácilmente el movimiento del fluido, teniendo en cuenta que cada pulso es de aproximadamente 2.25 mililitros. Hay que tener en cuenta que este dispositivo no es un sensor de precisión, y la frecuencia del pulso varía un poco dependiendo de la velocidad de flujo, la presión del fluido y la orientación del sensor. Se necesitará una cuidadosa calibración si se requiere más que un 10% de precisión. Sin embargo, es un producto muy bueno en tareas básicas. Este sensor es ideal para aplicaciones que tengan que ver con sistemas de tanques de almacenamiento, aplicaciones domésticas de reciclaje de agua, sistemas de riego, entre otras. [5]

La salida de pulsos es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal. El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) promedio proporcionado por el fabricante es: $f \text{ (Hz)} = 7.5 \times Q \text{ (L/min)}$. [6]

1.2.1-Efecto Hall

El efecto Hall, descubierto y definido por el físico estadounidense Edwin Herbert Hall, de quien su nombre toma, se define como la aparición de un campo eléctrico por separación de cargas en el interior de un conductor por el que circula una corriente en presencia de un campo magnético, con componente perpendicular al movimiento de las cargas.

El campo electro, conocido como *campo Hall*, es perpendicular al movimiento de las cargas, así como a la componente, también perpendicular del campo magnético aplicado. En palabras de Velásquez, et al (2015)

(...) al tener una lámina conductora por la que circula corriente eléctrica, y esta es sometida a la presencia de un campo magnético externo, se genera una tensión en los terminales de salida, conocida como voltaje Hall, cuyo valor es directamente proporcional a la corriente eléctrica y al campo magnético, e inversamente proporcional al espesor de la lámina, según la relación: [7]

$$V_H = \frac{R_H IB}{t}$$

2 - Sistema SCADA

Damos el nombre de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo.[8]

Cada uno de los ítems de SCADA, involucra muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado. Otra forma funcional, entre diversas otras, se da con una computadora que realice la adquisición vía hardware especializado. Luego, esa información la transmite hacia un equipo mediante su puerto serial. Como estos, existen muchos otros subsistemas alternativos aplicables.

Las tareas de Supervisión y Control están generalmente a cargo de un software SCADA. En él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta

comúnmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. [9]

Un sistema SCADA está dividido en 3 partes:

- Software de adquisición de datos y control (Scada).
- Sistemas de adquisición y mando (sensores y actuadores).
- Sistema de interconexión (comunicaciones).

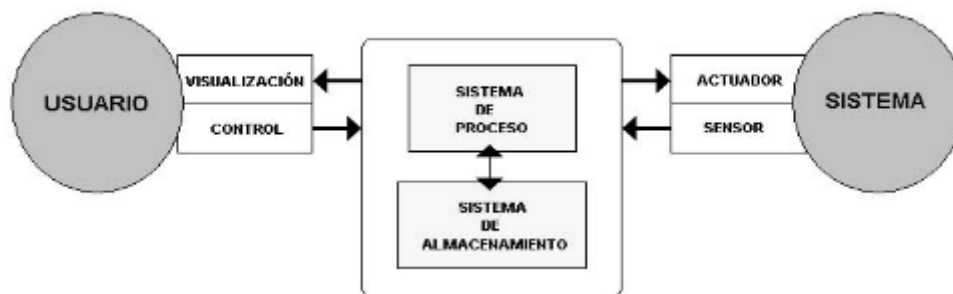


Figura 2: Arquitectura básica de un sistema SCADA. [8]

3 - Comunicación RS-485

La conexión RS-485 es un estándar de la capa física del modelo OSI. Una red de comunicaciones creada a partir de la interfaz RS-485 está constituida por dispositivos emisor/receptor, conectados por dos cables de par trenzado, los cuales se encargan de transmitir datos de forma diferencial (un hilo transmite la señal original y el otro su copia inversa). Este protocolo de comunicación RS-485 es ideal y de mucha utilidad en las redes locales industriales debido a que se logra transmitir información a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 Kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que el par trenzado reduce los ruidos que se inducen en la línea de transmisión.

Entre las características principales de la comunicación RS-485:

1. Transmisión de datos bidireccional semidúplex. El flujo de datos serie puede ser transportado en una dirección, la transferencia de datos al otro lado requiere

la utilización de un transceptor. Un transceptor (comúnmente referido como 'driver') es un dispositivo o un circuito eléctrico que forma una señal física en el lado del transmisor.

2. Canal de comunicación simétrico. La recepción o transmisión de datos requiere dos hilos de señal equivalentes. Los hilos se utilizan para intercambiar datos en ambas direcciones (alternativamente). Con la ayuda de un cable de par trenzado, el canal simétrico aumenta significativamente la estabilidad de la señal y suprime la radiación electromagnética generada por la señal útil.
3. Multiseñalador. La línea de comunicación RS-485 puede trabajar con varios receptores y transceptores conectados. Al mismo tiempo, un transmisor y varios receptores pueden conectarse a una línea de comunicación a la vez. Todos los otros transmisores que necesiten conectarse deben esperar hasta que la línea de comunicación esté libre para la transmisión de datos. [10]

Ha sido concebida como un sistema de bus bidireccional que permite la comunicación en serie de hasta 32 usuarios, capaz de enlazar procesadores de comunicación principal (maestro) con procesadores subordinados (esclavos) cuyo funcionamiento (acceso priorizado) está definido por los mismos arreglos topológicos de las redes de datos.

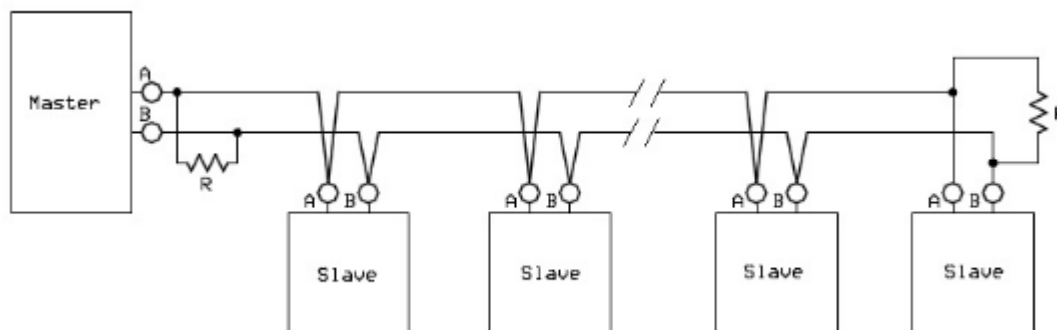


Figura 3: Configuración Maestro - Esclavo.

Dado que en la interfaz RS-485 los dispositivos trabajan en una línea común, no pueden transmitir y recibir datos al mismo tiempo, lo que lleva a un conflicto de transmisores por esto tiene que garantizarse con un protocolo que en todo momento esté activo como máximo un transmisor de datos. Los otros transmisores tienen que encontrarse en ese momento en estado de alta impedancia.

4 - Microcontroladores

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico que incluye las tres unidades funcionales de un computador: CPU, memoria y unidades de entrada y salida. Normalmente, un microcontrolador se considera como un computador integrado en un solo chip pero con unas prestaciones bastante reducidas, siendo éste optimizado para una aplicación específica. [11]

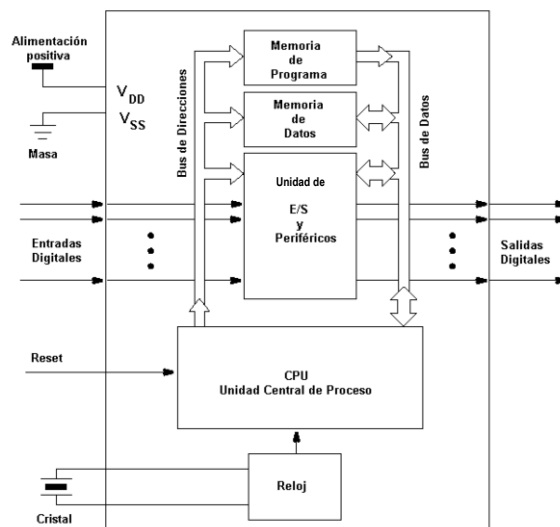


Figura 4: Esquema general de un microprocesador. [12]

Microcontroladores PIC

El nombre verdadero de este microcontrolador es PICmicro (Peripheral Interface Controller), conocido bajo el nombre PIC. Su primer antecesor fue creado en 1975 por la compañía General Instruments. Este chip denominado PIC1650 fue diseñado para propósitos completamente diferentes. Diez años más tarde, al añadir una memoria EEPROM, este circuito se convirtió en un verdadero microcontrolador PIC.[13]

En la página web de la empresa Microchip (<http://www.microchip.com>) se puede encontrar todo lo referente a microcontroladores PIC incluyendo los softwares de simulación y desarrollo.

Características relevantes

Arquitectura

El procesador sigue el modelo Harvard en su arquitectura, donde la CPU se conecta de forma independiente y con buses distintos con la memoria de instrucciones y con la de datos. Esta arquitectura también permite que la CPU acceda simultáneamente a las dos memorias.

Segmentación

Permite que el procesador realice al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y realizar la búsqueda del código de la siguiente. Esto permite que se pueda ejecutar cada instrucción en un ciclo, que corresponde a cuatro ciclos de reloj.

Formato de las instrucciones tienen la misma longitud

Las instrucciones de cada gama de microcontroladores poseen la misma longitud de bits lo que representa una gran ventaja en la optimización de la memoria de instrucciones y facilita enormemente la construcción de ensambladores y compiladores.

Procesador RISC (Reduced Instruction Set Computers)

- 33 instrucciones en los microcontroladores de gama baja.
- 35 instrucciones en los microcontroladores de gama media.
- 55 instrucciones en los microcontroladores de gama alta.

Gama baja.

Estos pertenecen a una serie de PIC de recursos limitados, pero con una de las mejores relaciones costo/ prestaciones. Pueden estar encapsuladas con 18 y 28 pines y se pueden alimentar a partir de los 2.5V, tienen un repertorio de 33 instrucciones en un formato de 12 bits, pero no admiten ningún tipo de interrupción.

Se caracterizan porque poseen los siguientes recursos:

- Sistema POR (POWER ON RESET).
Todos los PIC tienen la facultad de generar una autoreinicialización o *autoreset* al conectarles la alimentación.
- Perro guardián (Watchdog).
Existe un temporizador que produce un reset automáticamente si no es recargado antes que pase un tiempo prefijado. Así se evita que el sistema

quede "colgado" dado en esa situación el programa no recarga dicho temporizador y se genera un reset.

- Código de protección.
Cuando se procede a realizar la grabación del programa, puede protegerse para evitar su lectura.
- Modo de reposo (bajo consumo o SLEEP).
Ejecutando una instrucción (SLEEP), el CPU y el oscilador principal se detienen y se reduce notablemente el consumo.
- Líneas de E/S de alta corriente.
Las líneas de E/S de los PIC pueden proporcionar o absorber una corriente de salida comprendida entre 20 y 25 mA, capaz de excitar directamente ciertos periféricos.

Gama media

Es la gama más variada y completa de los PIC. Están encapsulados desde los 18 hasta los 68 pines. Esta gama añade nuevas prestaciones a sus componentes, diferentes a las que poseían los de gama baja, haciéndolos más adecuados para aplicaciones complejas. Admiten interrupciones, poseen comparadores de magnitudes analógicas, convertidores A/D, puertos serie y diversos temporizadores.

Su repertorio es de 35 instrucciones, de 14 bits cada una y compatible con el de gama baja. Dispone de interrupciones y una pila de 8 niveles que permite el anidamiento de subrutinas.

El temporizador TMR1 que hay en esta gama tiene un circuito oscilador que puede trabajar asincrónicamente y que puede incrementarse, aunque el microcontrolador se halle en el modo de reposo ("sleep"), posibilitando la implementación de un reloj en tiempo real.

Las líneas de E/S del puerto B presentan una carga "pull-up" activada por software.

Gama Alta

Alcanzan 58 instrucciones de 16 bits y sus modelos disponen de un sistema de gestión de interrupciones vectorizadas muy potentes. También incluyen variados controladores de periféricos, puertos de comunicación serie y paralelo con elementos externos, un multiplicador hardware de gran velocidad y mayores capacidades de memoria, que alcanzan las 8K palabras en la memoria de instrucciones y 454 bytes en la memoria de datos.[14]

5 - Instrumentación virtual con LabView.

LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como el control de instrumentos, el análisis, procesamiento, adquisición, distribución y despliegue de datos e información relacionados con la medición de una o varias señales específicas; a través de este se pueden crear instrumentos virtuales, los cuales simulan a la perfección un instrumento real apoyándose de diferentes hardwares como tarjetas de adquisición.[15]

6 - Servidores OPC

Un servidor OPC es una aplicación de software que hace de interfaz comunicando por un lado con una o más fuentes de datos utilizando sus protocolos nativos (PLCs, DCSs, básculas, Módulos I/O, controladores) y por el otro lado con clientes OPC (SCADAs, HMIs, generadores de gráficos) [16]. En una arquitectura cliente OPC/ servidor OPC, el servidor OPC es el esclavo mientras que el cliente OPC es el maestro. Las comunicaciones entre el cliente OPC y el servidor OPC son bidireccionales, lo que significa que los clientes pueden leer y escribir en los dispositivos a través del servidor OPC.



Figura 5: Estructura Servidor OPC

Metodología

1. Pasos, peticiones, demandas y demás requerimientos del proceso para el desarrollo, control y supervisión el sistema.

Se realizó una observación del funcionamiento del proceso, el cual inicia con la motobomba que impulsa el agua en contra de la gravedad, convirtiendo la energía mecánica en energía cinética. El agua es absorbida por el orificio de entrada, y es impulsada luego por el motor, el cual, se vale de imanes y bobinas para crear un campo magnético que permite la continua rotación del impulsor (M), que se encarga de suministrar el agua almacenada en el tanque S mediante una tubería, que la vierte en el tanque A. El agua es vertida en el tanque A por la parte superior de éste que se encuentra al descubierto. El tanque A tiene en su parte inferior una tubería que reparte por gravedad, el agua hasta el tanque B de la forma ya descrita. El tanque B se encuentra a una altura inferior respecto del tanque A, pero superior frente al tanque S, a este último, se encuentra conectado por una tubería que parte de uno de sus extremos inferiores como se detalla en la figura. El tanque C se encuentra ubicado paralelamente al tanque B y de este recibe el agua, mediante una tubería que los conecta por su parte inferior. Tanto el tanque C como el tanque B, vierte nuevamente el agua en el tanque S. El sistema cuenta igualmente con 4 válvulas que, como se dijo al comienzo, no fueron tenidas en cuenta para este trabajo y por lo tanto pueden estar abiertas o cerradas.

Las dimensiones de estos tanques son:

Tanque A: 28,7 cm de ancho, 58 cm de largo y 30 cm de alto. Que le da una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 50 litros.

Tanque B y C: 19,1 cm de ancho, 19,1 cm de largo y 30 cm de alto. Que les da una capacidad de almacenamiento a cada uno de aproximadamente 11 litros.

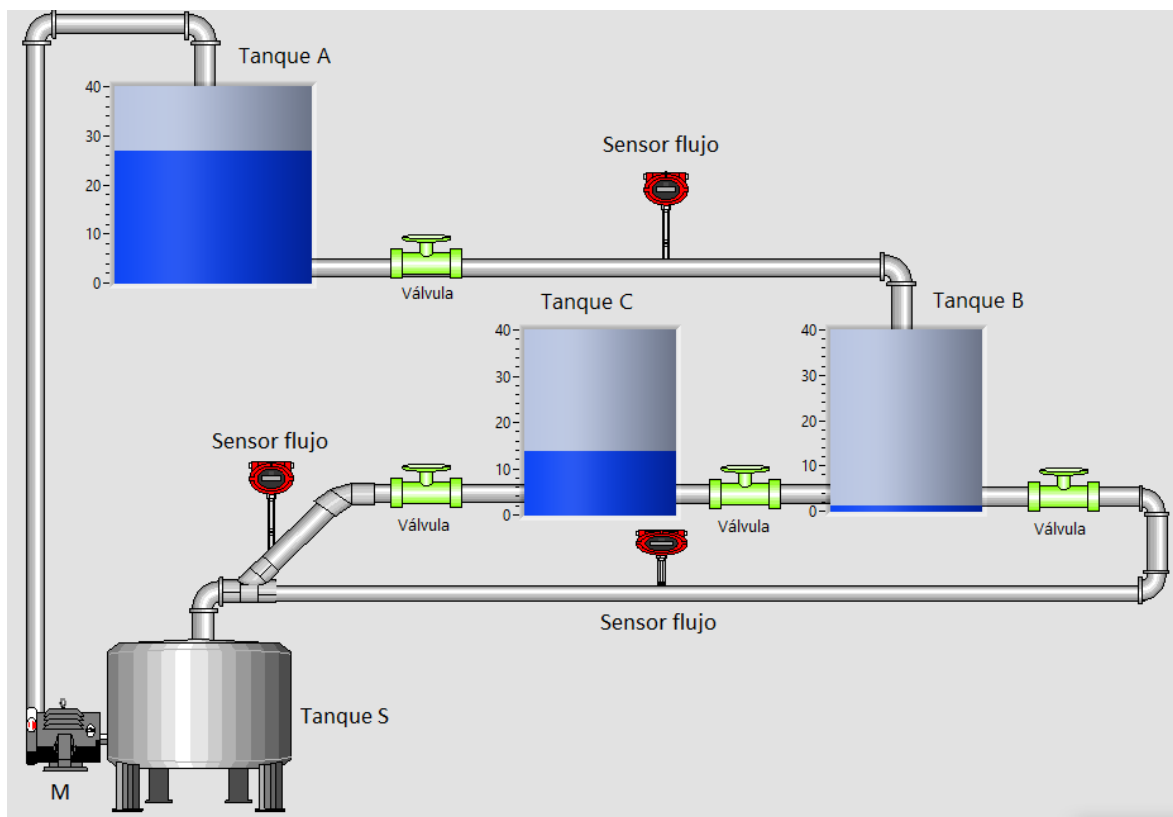


Figura 6: Interfaz gráfica del sistema tratado.

Los sensores que se emplearon para medir el nivel de agua son sensores de proximidad (HC-SR04) los cuales emiten una onda ultrasónica que es reflejada por la superficie del agua y recibida de nuevo por estos, tomando el tiempo de este recorrido y conociendo la velocidad de propagación del sonido en el aire se puede calcular la distancia a la que se encuentra el líquido del sensor. En el sistema estos sensores se ubicaron por encima de los tanques A, B y C, a una distancia de 5.4 cm, 5.1 cm y 4.7 cm respectivamente.

Los sensores de flujo (water flow sensor YF-S201), tienen un diseño basado en plástico sólido, cuentan con un rotor de agua y están conformados por un pequeño molino con un imán atado, y con un sensor que aprovecha el efecto Hall en un lado del tubo, para registrar cada vuelta dada por el molino y esto genera impulsos de salida proporcionales a la velocidad de flujo. En el sistema, estos sensores se encuentran ubicados en la tubería como se puede observar en la figura 6.

Por su parte, el funcionamiento del actuador se explica como un motor monofásico de baja potencia, que impulsa el agua del Tanque S al Tanque A. Obedece a las señales de encendido y apagado que provienen del entorno de programación gráfica *LabView*, al cual se conecta mediante la red de seis tarjetas de adquisición de datos. Para el caso, una de ellas se encuentra a cargo del actuador y a través de esta, recibe la señal de un interruptor existente en el entorno de programación. Esta tarjeta, junto con las demás, se encarga también de la transmisión de datos de los sensores de flujo y de nivel.

2. Diseño e implementación de una red de sensores basada en un protocolo de comunicación serial multipunto RS-485.

En el proyecto se emplearon dos tipos de sensores, los sensores ultrasónicos y los sensores de flujo. El módulo del sensor ultrasónico HC-SR04 es un circuito de dimensiones 43 x 20 x 17 mm el cual se alimenta con una tensión de 5 voltios, este incorpora un par de transductores, uno de los cuales, luego de ser activado por un pulso de disparo que se hace a través del pin TRIG, con una duración mínima de 10 μ s, emite una ráfaga de ultrasonido de 8 pulsos a una frecuencia de 40Khz e inmediatamente y luego de esto, el pin ECHO, que funcionará como un cronómetro, se pone en 5V y el otro transductor se queda a la espera de la reflexión de una de las ondas, para poner nuevamente en 0V dicho pin. Obteniendo así una diferencia de tiempo, con la cual es posible calcular la distancia a la que se encuentra el líquido. Es necesario tener en cuenta que el rango de trabajo de este sensor está entre 1,7 cm y 4,5 m.

Sensores de nivel.

Con el fin de calibrar los sensores y en vista de que cada uno arrojaba una cantidad de pulsos diferente, fuera por el oleaje del agua bajo el sensor (en los de nivel) o, debido a las particularidades de la fabricación de los sensores (aun siendo del mismo fabricante), se probó en primera instancia el sensor de ultrasonido HC-SR04 en un ambiente controlado, compuesto por un recipiente con agua y un soporte fijo para dicho sensor. Donde se conocía la cantidad exacta de líquido y la distancia entre la superficie de este y el sensor. Después de un número considerable de muestras, se logró encontrar una ecuación que diera una muy buena medida con un porcentaje mínimo de error.

Para la toma de muestras y la posterior calibración de estos sensores se empleó una placa *arduino Leonardo* con el siguiente código programado en esta:

```
const int Trigger = 2; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
```

```

const int Echo = 3; //Pin digital 3 para el Echo del sensor

void setup() {
  Serial.begin(9600); //inicializamos la comunicación
  pinMode(Triquer, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
  digitalWrite(Triquer, LOW); //Inicializamos el pin con 0
}

void loop()
{
  long t; //timepo que demora en llegar el eco
  long d; //distancia en centímetros

  digitalWrite(Triquer, HIGH);
  delayMicroseconds(10); //Enviamos un pulso de 10us
  digitalWrite(Triquer, LOW);

  t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
  d = t/59; //escalamos el tiempo a una distancia en cm

  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(d); //Enviamos serialmente el valor de la distancia
  Serial.print("cm");
  Serial.println();
  delay(100); //Hacemos una pausa de 100ms
}

```

Para tomar las muestras se emplearon 3 tanques hechos de acrílico

Tanque b y c: 19,1 x 19,1 x 30... 1 ltr = 2,74 cm

Tanque a: 28,7 x 58 x 30... 1 ltr = 0,6 cm

Distancia del sensor hasta el borde del tanque

Tanque C: 4.7cm

Tanque B: 5.1cm

Tanque A: 5.4cm

La tabla a continuación muestra los resultados de las medidas tomadas por cada uno de los sensores, y la distancia tomada con un flexómetro, esta última denominada *distancia real*.

Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3	
Distancia real	Distancia sensor	Distancia real	Distancia sensor	Distancia real	Distancia sensor
32.3	31.1	33.1	31.4	30.8	29.7
26.8	25.7	31.1	29.5	27.5	26.5
22.2	21.5	28.4	27.1	26.5	25.3
17.7	17.4	25.6	24.5	24.4	25.6
13.3	13.4	23.1	22.2	23.4	23.3
11.7	11.8	18.2	17.7	22.4	22.4

Tabla 1: Tabla de mediciones para los tres sensores de proximidad HC-SR04.

Las siguientes tres tablas, muestran, además de los resultados arriba expuesto, el error absoluto y el porcentaje de error.

Sensor 1			
Distancia Real	Distancia Sensor	Error absoluto	Porcentaje de error absoluto
32.3	31.1	1.2	4%
26.8	25.7	1.1	4%
22.2	21.5	0.7	3%
17.7	17.4	0.3	2%
13.3	13.4	0.1	1%
11.7	11.8	0.1	1%

Tabla 2: Error absoluto y porcentaje de error del sensor 1

Sensor 2			
Distancia Real	Distancia Sensor	Error absoluto	Porcentaje de error absoluto
33.1	31.4	1.7	5%
31.1	29.5	1.6	5%
28.4	27.1	1.3	5%
25.6	24.5	1.1	4%
23.1	22.2	0.9	4%
18.2	17.7	0.5	3%

Tabla 3: Error absoluto y porcentaje de error del sensor 2.

Sensor 3			
Distancia Real	Distancia Sensor	Error absoluto	Porcentaje de error absoluto
30.8	29.7	1.1	4%
27.5	26.5	1	4%
26.5	25.3	1.2	5%
24.4	25.6	1.2	5%
23.4	23.3	0.1	0%
22.4	22.4	0	0%

Tabla 4: Error absoluto y porcentaje de error del sensor 3.

Sensores de flujo.

Por otro lado, el sensor de flujo o caudalímetro YF-S201, sirve para medir el caudal de agua en tuberías de media pulgada de diámetro. Está conformado por un molino con un imán atado en una de sus aspas, que al pasar por un sensor de efecto Hall, genera un pulso que marcará una vuelta del molino, la descripción de este sensor,

explica que envía un promedio de 450 pulsos por litro. El sensor tiene tres cables: rojo para la alimentación positiva (5~18VDC), negro para tierra y amarillo para la salida de pulsos del sensor de efecto Hall.

Una vez probado el sensor de proximidad, se procedió a hacer las respectivas pruebas con los sensores de flujo, haciendo pasar una cantidad conocida de agua por estos y midiendo el número de pulsos generados para posteriormente calcular un factor de conversión adecuado que permitiera una aproximación casi exacta del flujo de agua que pasa por la tubería.

Para dichas pruebas se empleó un microcontrolador arduino Leonardo con el siguiente código implementado en este:

```
volatile int Pulsos; // Variable para la cantidad de pulsos recibidos
int PinSensor = 2; //Sensor conectado en el pin 2
float fac_conversion=7.1; //Factor que convierte frecuencia en caudal

//--Función que se ejecuta en interrupción--
void ContarPulsos ()
{
  Pulsos++; //incrementa la variable de pulsos
}

//--Función para obtener frecuencia de los pulsos--
int ObtenerFrecuencia()
{
  int frecuencia;
  Pulsos = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
  interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
  delay(1000); //muestra de 1 segundo
  noInterrupts(); //Desabilitamos las interrupciones
  frecuencia=Pulsos; //Hz(pulsos por segundo)
  return frecuencia;
}

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PinSensor, INPUT);
  attachInterrupt(0,ContarPulsos,RISING); //Interrupcion
  attachInterrupt(0,funcion,Flanco de subida)
}
```

```

void loop ()
{
  float frecuencia=ObtenerFrecuencia(); //obtenemos la Frecuencia de los
  pulsos en Hz
  float caudal_L_m=frecuencia/fac_conversion; //calculamos el caudal en
  L/m

  //-----Enviamos por el puerto serie-----
  Serial.print ("Caudal: ");
  Serial.print (caudal_L_m,3);
  Serial.print (" L/m\t");
}

```

El resultado arrojado, se utilizó como parámetro dentro de la programación realizada en el entorno gráfico.

Los resultados se exponen en la tabla a continuación.

	Sensor1			Sensor2			Sensor3		
Fact. conv	Flujo prom	litros	error	Flujo prom	Litros	Error	Flujo prom	Litros	error
6,7	4,8	4,5	7%	3,8	3,3	15%	5,2	4,5	16%
6,7	3,9	3,5	11%	4,6	4,0	15%	4,7	4,0	18%
6,7	5,1	4,6	11%	4,9	4,5	9%	3,5	3,0	17%
6,9	4,5	4,7	4%	2,3	2,5	8%	3,9	3,6	8%
6,9	6,1	6,2	2%	2,8	2,7	4%	5,1	4,75	7%
6,9	5,3	5,2	2%	3,2	3,2	0%	2,9	2,7	7%

7,1	5,2	5,7	9%	5,1	5,3	4%	4,5	4,6	2%
7,1	4,7	5,0	6%	5,4	5,8	7%	5,2	5,24	1%
7,1	6,2	6,5	5%	6,0	6,3	5%	6,06	6,09	0%

Tabla 5: Tabla de mediciones para los tres sensores de flujo YF S201.

La tabla 5 indica un muestreo, en el cual se tomó el flujo de líquido promedio que pasó durante un minuto por cada uno de los sensores, y se midió la cantidad de litros que pasaron en este tiempo, sacando así el error que se presentaba en cada caso, concluyendo de esta manera que los factores de conversión a utilizar son 6.9, 6.9 y 7.1 respectivamente dado que fueron los que menos porcentaje de error generó.

Tarjetas de adquisición de datos:

Se procedió a diseñar y elaborar una tarjeta que empleara un microcontrolador PIC para adquirir las señales que entregan los tres sensores ultrasónicos y los tres sensores de flujo, así como para enviar la señal de control que activará la motobomba que alimenta todo el sistema de tanques.

Para la elaboración de las tarjetas de adquisición se eligió trabajar con el PIC16f1823 puesto que las características de este se adaptaban adecuadamente a lo necesitado. Entre todas sus características, las que se tomaron en cuenta para el uso de la tarjeta, fueron las siguientes: Oscilador interno de 32MHz, 14 contactos (12 pines de entrada y salida y 2 de alimentación), una entrada conversora análoga digital, y el hecho de que permite un acceso al bus gestionado directamente por el controlador USB, que permite transferencias isócronas y elimina los tiempos de arbitración.

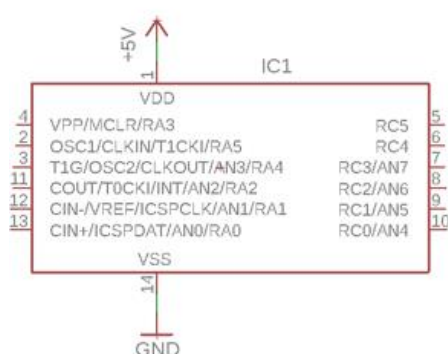


Figura 7: Microcontrolador PIC16f1823.

Otro componente de la tarjeta, es el driver de comunicación serial MAX485 que se integra con el PIC que posee la información proveniente de los sensores, la cual será transmitida por el bus a petición del maestro.

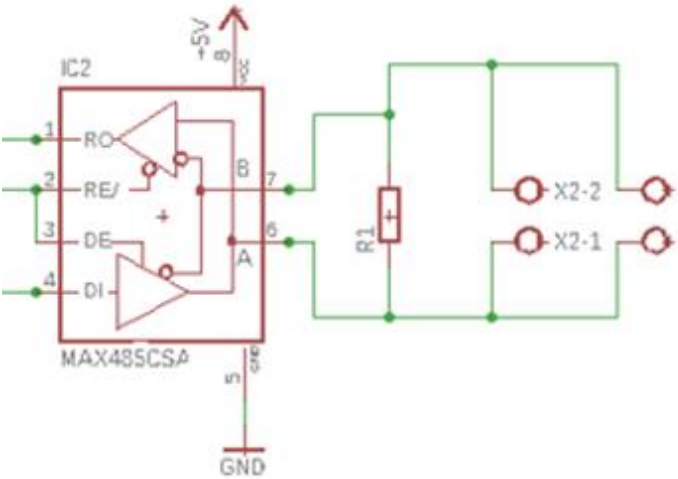


Figura 8: Circuito para el bus de comunicación serial con driver MAX485.

Como se dijo anteriormente, las tarjetas fueron diseñadas y elaboradas con un circuito de potencia que emplea un MOC3021 y un tiristor triac BTA 8-600, que permite aislar eléctricamente una carga AC, de los elementos más sensibles como son los sensores, el microcontrolador y el driver de comunicación, y así cada tarjeta, si en algún momento se requiere, tiene la capacidad de ejecutar un mando sobre un actuador. Por ejemplo, si en el futuro se quisieran acoplar electroválvulas, además de la motobomba. En este caso solo se empleó este circuito sobre la tarjeta número 6 del bus de comunicación, para efectuar el control de la motobomba.

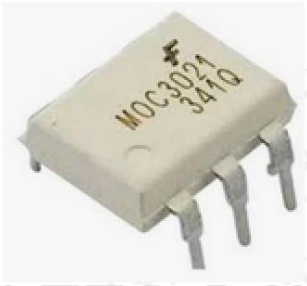
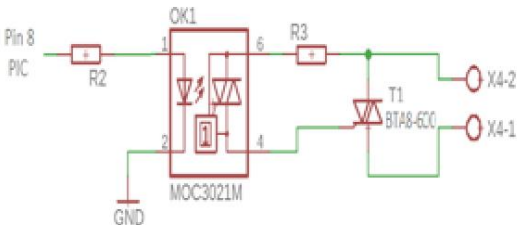


Figura 9: Circuito de potencia con MOC302 para control de motobomba.

La motobomba empleada para el abastecimiento de los tanques es un motor monofásico de baja potencia, de medio caballo de fuerza con un caudal máximo de 35 litros por minuto.

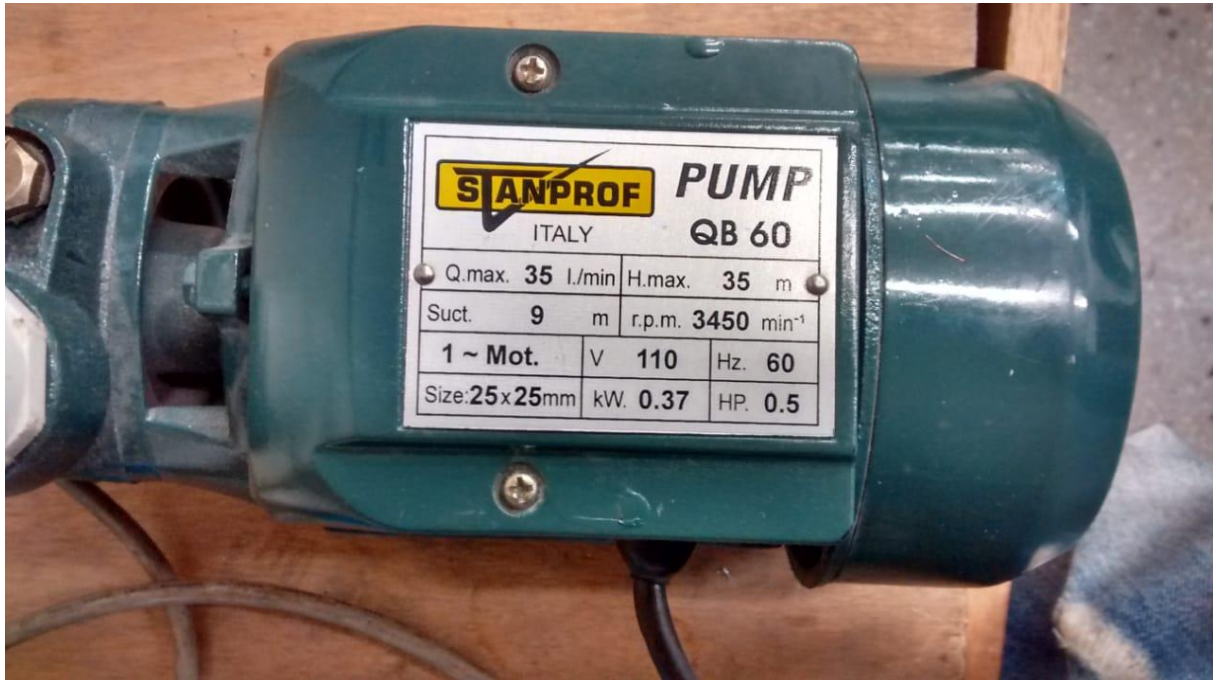


Figura 10: Motor monofásico de baja potencia.

Programación de los pic en las tarjetas:

Para los sensores de nivel, tarjetas 1,2 y 3, se utilizó el siguiente código sobre el PIC para que mediante el driver de comunicación max485 nos transmitiera el dato de cuánto tiempo tarda la onda ultrasónica en ir desde el sensor hasta la superficie del agua y regresar de nuevo a este, para luego desde el entorno de LabView utilizar este dato y procesarlo para obtener la distancia de dicho desplazamiento.

```
#include <16f1823.h>
#fuses intrc_io, noprotect,nowdt,nomclr
#use delay(clock=4M)
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c4,rcv=pin_c5,enable=pin_c3)

#define id 3

int16 distancia,tiempo;
int1 state=0,read=0,disparo=0;
int dato=0,distancia_l=0,distancia_h=0,sec=0,comando=0;

#define trig pin_a1
#define echo pin_a2
#define AC pin_c2
```

```
#int_ext
void flanco(){
switch(state){
case 0:
set_timer1(0);
state=1;
EXT_INT_EDGE(H_TO_L);
break;
case 1:
tiempo=get_timer1();
ext_int_edge(L_to_h);
state=0;
read=1;
break;
}
}
```

```
#int_rda
void query(){
dato=getc();
switch(sec){
case 0:
if(dato=='S'){
sec++;
}
break;
case 1:
if(dato=='N'){
sec++;
}
else{
sec=0;
}
break;
case 2:
if(dato==id){
disparo=1;
}
sec++;
break;
case 3:
comando=dato;
sec=0;
if(dato==1){
output_high(AC);
}
else{
output_low(AC);
}
```



```

    }
    break;
}
}

void main(){
    delay_ms(2000);
    enable_interrupts(global);
    enable_interrupts(int_ext);
    enable_interrupts(int_rda);
    EXT_INT_EDGE(L_TO_H);
    setup_timer_1(T1_internal|T1_div_by_1);
    output_low(trig);
    output_low(AC);
    read=1;
    for(;;){

        if(disparo){
            disparo=0;
            output_high(trig);
            delay_us(20);
            output_low(trig);
        }

        if(read){
            read=0;
            distancia_l=make8(tiempo,0);
            distancia_h=make8(tiempo,1);
            putc(distancia_l);
            putc(distancia_h);
        }
    }
}

```

Luego a las tarjetas de adquisición de los sensores de flujo, se les programó el PIC con el siguiente código para que nos arrojará el dato de cuantos pulsos o giros dan las aspas del sensor durante un segundo, para luego desde el entorno de LabView se le dé un procesamiento y se visualice el flujo de líquido que pasa por cada una de las tuberías que componen el sistema (Esta implementación se explica más adelante donde se habla de toda la elaboración del entorno gráfico)

A continuación se muestra el código programado en las tarjetas 4 y 5, correspondientes a los caudales 1 y 2.

```
#include <16f1823.h>
```

```
#fuses intrc_io, noprotect,nowdt,nomclr
#use delay(clock=4M)
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c4,rcv=pin_c5,enable=pin_c3)
```

```
#define id 5
```

```
int16 frecuencia=0;
int divisor=0;
int16 caudal=0;
int1 disparo=0;
int dato=0,frecuencia_l=0,frecuencia_h=0,sec=0;
```

```
#define pulse pin_a2
```

```
#int_ext
void flanco(){
    frecuencia++;
}
```

```
#int_rda
void query(){
    dato=getc();
    switch(sec){
        case 0:
            if(dato=='S'){
                sec++;
            }
            break;
        case 1:
            if(dato=='N'){
                sec++;
            }
            else{
                sec=0;
            }
            break;
        case 2:
            if(dato==id){
                disparo=1;
            }
            sec=0;
            break;
    }
}
```

```
#int_timer1
void time(){
    divisor++;
```



```

if(divisor>15){
    divisor=0;
    caudal=frecuencia;
    frecuencia=0;
}
}

void main(){
    port_a_pullups(0xff);
    enable_interrupts(global);
    enable_interrupts(int_ext);
    enable_interrupts(int_rda);
    enable_interrupts(int_timer1);
    EXT_INT_EDGE(L_TO_H);
    setup_timer_1(T1_internal|T1_div_by_1);
    output_low(pin_c2);

    for(;;){
        if(disparo){
            disparo=0;
            frecuencia_l=make8(caudal,0);
            frecuencia_h=make8(caudal,1);
            delay_ms(1);
            putc(frecuencia_l);
            putc(frecuencia_h);
        }
    }
}

```

Para el caso de la tarjeta 6, que es la encargada de accionar la motobomba por medio del circuito de potencia descrito en la *figura 9*, el código programado es el mismo, cambiando solamente la parte de la interrupción por rda, como se muestra a continuación:

```

#int_rda
void query(){
    dato=getc();
    switch(sec){
        case 0:
            if(dato=='S'){
                sec++;
            }
            break;
        case 1:
            if(dato=='P'){

```

```
    sec++;
    output_high(pin_c2);
  }
  else if(dato=='A'){
    sec++;
    output_low(pin_c2);
  }
  else{
    sec=0;
  }
  break;
case 2:
  if(dato==id){
    disparo=1;
  }
  sec=0;
  break;
}
}
```

El diseño del entorno gráfico.

El diseño de la programación en el entorno gráfico se hizo de la siguiente manera:

Primero, como el fin de la programación es la obtención de los datos que arrojan cada una de las 6 tarjetas de adquisición, se comenzó definiendo cada una con un número de identificación diferente. No ha de olvidarse que cada tarjeta corresponde a un sensor, (tres de nivel y tres flujo) siendo la tarjeta No. 6 la encargada tanto del actuador como del sensor No. 6. El número, además de la identificación, sirvió para designar la función de cada una de ellas.

Segundo, se definió tal orden así; las tarjeta 1, 2 y 3 pertenecen a los sensores de nivel (ultrasonido) y las 4, 5 y 6 a los de flujo (Efecto Hall). De manera que, en el evento en que los tanques se encuentren vacíos, al iniciar la prueba el líquido cruza inicialmente por el sensor 3 (En el tanque A), cuando alcanza 4 cm de altura, discurre hacia el sensor No. 4. Seguidamente llega al tanque B y en consecuencia al sensor 1. Cuando alcanza una altura de 5 cm, discurre, tanto hacia el sensor 6 como hacia el sensor 2 (tanque C). Ha de aclararse que, la motobomba, al ser un motor monofásico, siempre que esté encendida, impulsará la misma cantidad de agua, la cual es insuficiente para llenar los tanques por sí misma. Por lo que, si se desea llenar, por ejemplo, el tanque C, han de cerrarse las válvulas X y Z. En ese sentido, por ejemplo el tanque A se llenará sin necesidad de cerrar la válvula W, siempre que en el tanque S haya suficiente agua para tal fin. Ocurrida esta situación, indefectiblemente el tanque B se llenaría, puesto que el volumen del agua que a él

ingresa, es inferior al agua que evacúa, aun por sus dos vertientes y sus dos válvulas contiguas abiertas.

Producto de este orden definido del sistema, se puede determinar la necesidad de encender o apagar el motor, atendiendo tanto al volumen de agua que se esté acumulando en los tanques, como del flujo que esté pasando por las tuberías.

Los sensores arrojan, por defecto, un dato numérico de la medición realizada, que no atiende a una de las medidas que sirven, en este trabajo, para medir el flujo y el nivel. Por ello, fue necesario aplicar, al dato arrojado por cada uno de los sensores, una fórmula de conversión que a continuación se describe.

Teniendo en cuenta que, el sistema para la medición del nivel, es lineal se puede partir desde la ecuación de la recta:

$$y - y_0 = m(x - x_0)$$

Donde empleando dos puntos tomados del muestreo previo se puede hallar una pendiente. Para 16 cm de distancia se obtuvo un pulso de 949 ms de duración y para 12 cm se obtuvo una duración de 695 ms

$$m = \frac{16 - 12}{949 - 695} = 0.016$$

Dando como resultado final la siguiente ecuación:

$$y = 0.016x + 1 \quad (1)$$

Para el caso de los sensores de flujo partimos de la ecuación del caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

Y siguiendo la ecuación dada por el fabricante donde $K = \frac{n^\circ \text{pulsos}}{V}$ tenemos:

$$Qt = \frac{n^\circ \text{pulsos}}{K} \quad (2)$$

Aplicadas estas fórmula a los datos arrojado por los sensores, se obtiene la medición en cm para el nivel o en L/m (litros por minuto) para el caudal.

3. Diseño e implementación de un controlador maestro y una interfaz de control y monitoreo (SCADA) en el software LabView

El algoritmo funcional, que se diseñó para el presente proyecto es el siguiente:

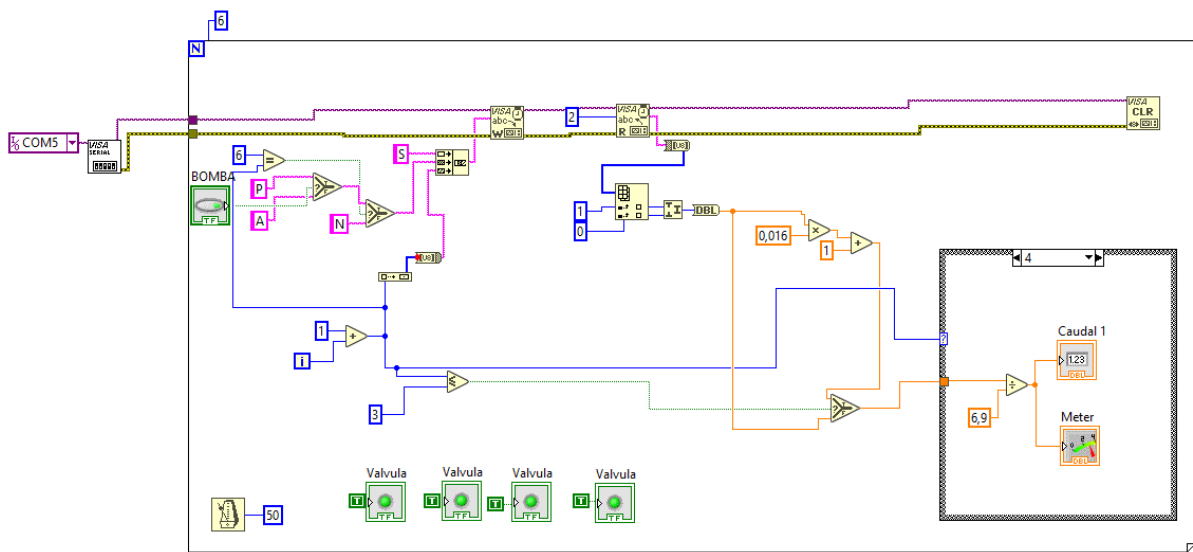


Figura 11: Algoritmo implementado en LabView.

Se comenzó creando un bus para la comunicación serial con las tarjetas de adquisición. Mediante un bloque de escritura y empleando un ciclo *for* para formar una lógica de estados, con la que es posible seleccionar el esclavo al cual se le quiere extraer información o dar una orden como se hace en el caso de la tarjeta número 6.

Luego de esto, por medio de un bloque de lectura, se obtiene la información recolectada por la tarjeta correspondiente a la iteración del ciclo en el que se encuentra. La información leída está repartida en dos bytes que son concatenados y convertidos a un dato tipo *double* el cual es procesado de dos formas diferentes, una aplicando la ecuación (1) descrita anteriormente para obtener distancia en centímetros y otra dejando tal cual el dato para posteriormente ser tratado.

Se creó una estructura *case* donde los tres primeros casos corresponden a las mediciones de los sensores de nivel y los siguientes tres a los sensores de flujo:

En los tres primeros casos para que se visualice el nivel de los tres tanques se creó un indicador numérico con un tanque asociado. Además debido a la distancia a la que se encuentra el sensor de la parte baja del tanque, se tuvo que hacer una sustracción, esto se puede observar en la siguiente figura.

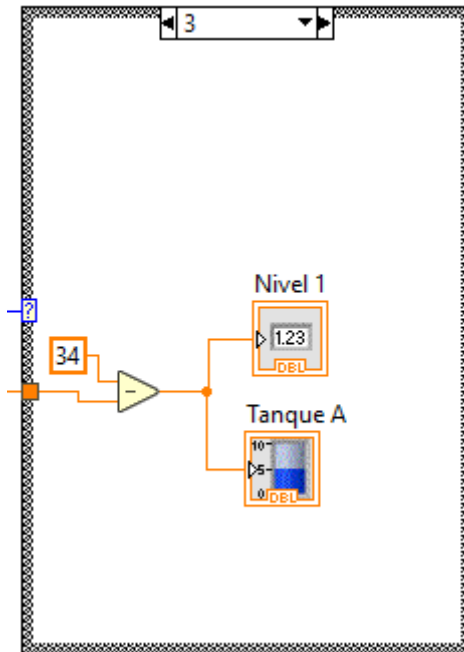


Figura 12: Estructura correspondiente a uno de los sensores de nivel.

Ahora para los siguientes 3 casos se divide el dato que corresponde a los pulsos por segundo que se extraen de los sensores de flujo, por el factor de conversión encontrado experimentalmente cuando se realizó el muestreo con el arduino, luego el dato que resulta de esta división se lleva a un indicador numérico con un medidor asociado para la adecuada observación en tiempo real del caudal en litros por minuto.

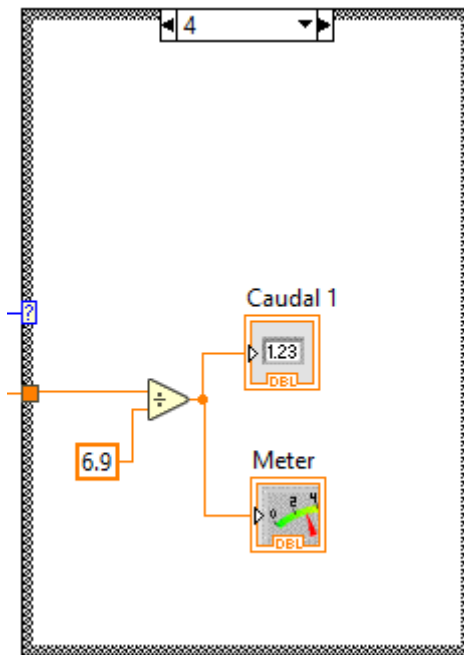


Figura 13: Estructura correspondiente a uno de los sensores de flujo.

Este algoritmo resultó funcional para el funcionamiento del sistema, como se observa de las mediciones expresadas en las tablas 1 y 5. La interfaz obtiene la información de interés de la planta (Variables sensadas), y permite a un usuario definir la variable de interés (Altura del tanque A o altura de los tanques B y C) y el punto de referencia.

Esta interfaz, como fue diseñada, permite que, con sencillas adiciones a las fórmulas que la componen, otros usuarios puedan definir sus variables de interés y puntos de referencia para, por ejemplo encender o apagar el sistema.

Pese a la complejidad del diseño, partiendo de cero como en este caso, el producto final resulta ser un sistema tan maleable, que permite definir sin gran esfuerzo los puntos de referencia y adecuar la interfaz a las necesidades del usuario. Por ende, si se deseara más adelante, implementar un sistema de electroválvulas, para complejizar aún más el sistema, sería posible partiendo de los algoritmos definidos en este trabajo, como arriba se expresó.

4. Diseño e implementación de una interfaz de comunicación con PLC mediante servidor OPC.

Para implementar la interfaz, se utilizó el programa NI OPC SERVER. Creando en este un nuevo canal de comunicación, y eligiendo un nombre cualquiera, así:

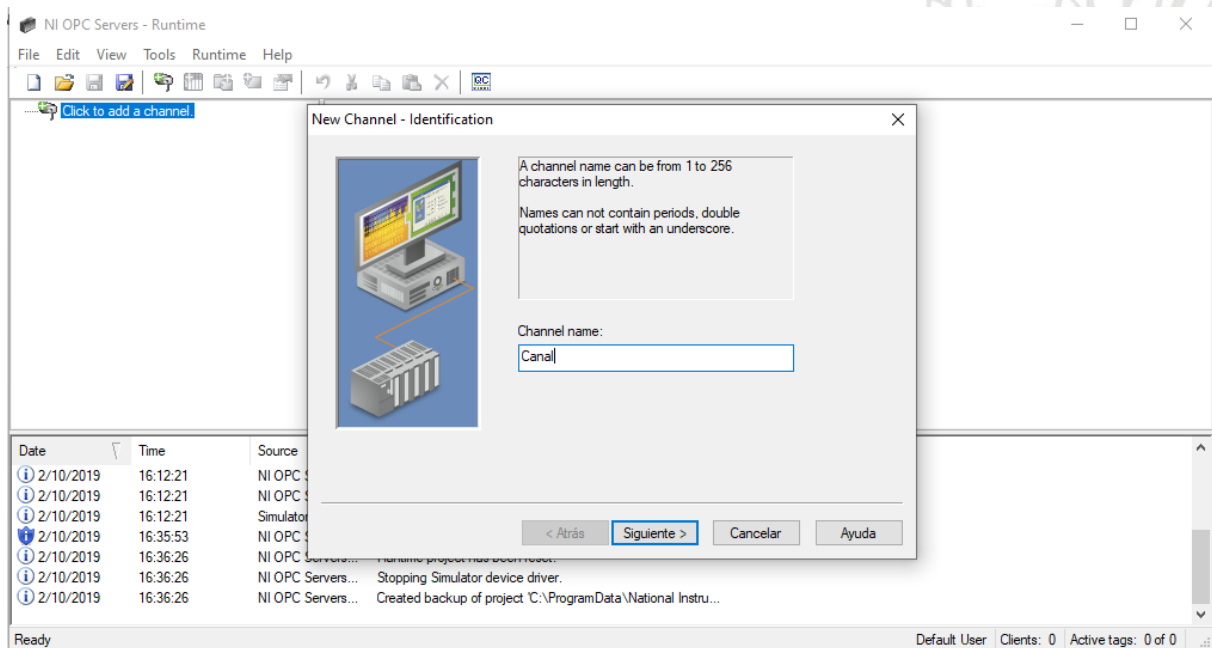


Figura 14: Paso 1 para la configuración del servidor OPC

Seguidamente se selecciona el dispositivo en el cual se alojara el OPC SERVER, (Siemens S7-1200" para este trabajo) eligiendo la casilla Siemens "TCP/IP Ethernet" y habilitando la casilla de "Enable diagnostics".

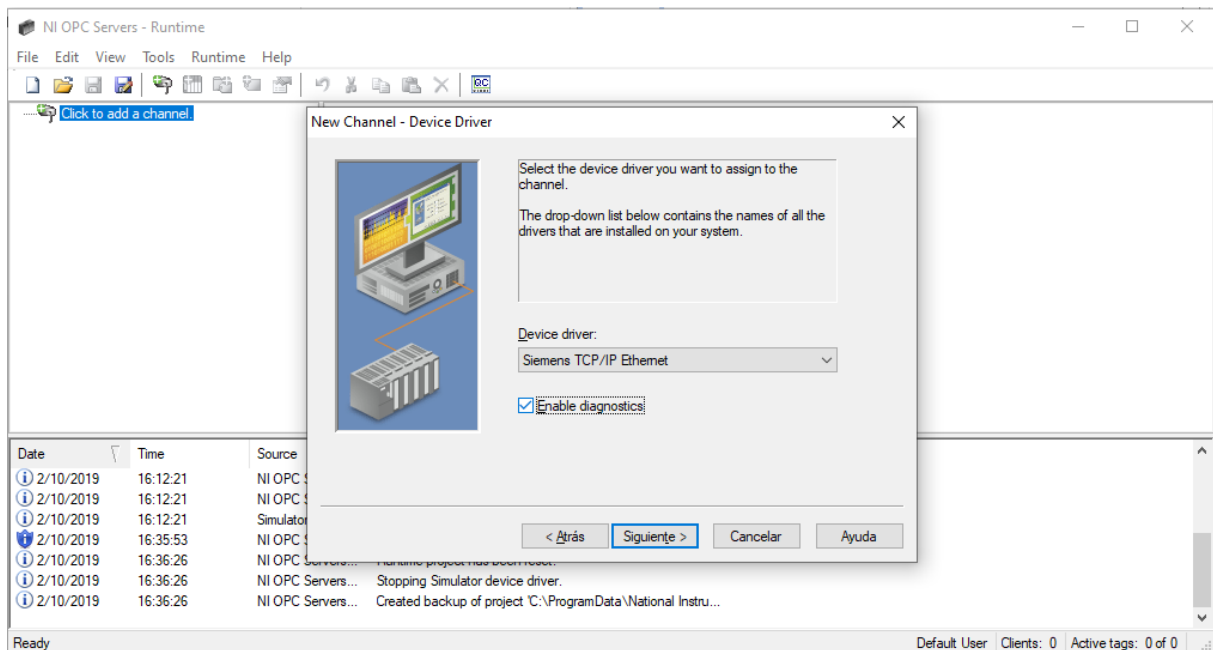


Figura 15: Paso 2 para la configuración del servidor OPC

Lo siguiente es seleccionar el adaptador de red.

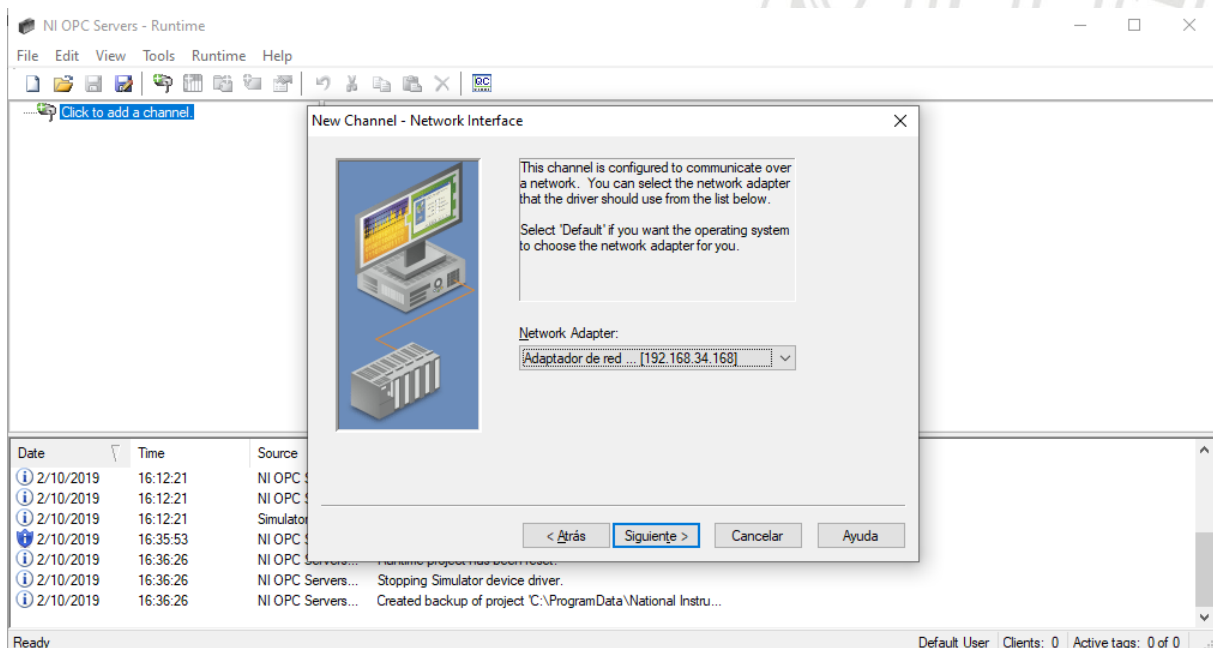


Figura 16: Paso 3 para la configuración del servidor OPC.

Luego de ello y una vez se dé por finalizada la configuración del canal, se dejan los siguientes parámetros por defecto. Posteriormente se habilita la configuración del dispositivo, comenzando por "click to add a device" y digitando un nombre al dispositivo, para así posteriormente escoger el modelo "S7-1200".

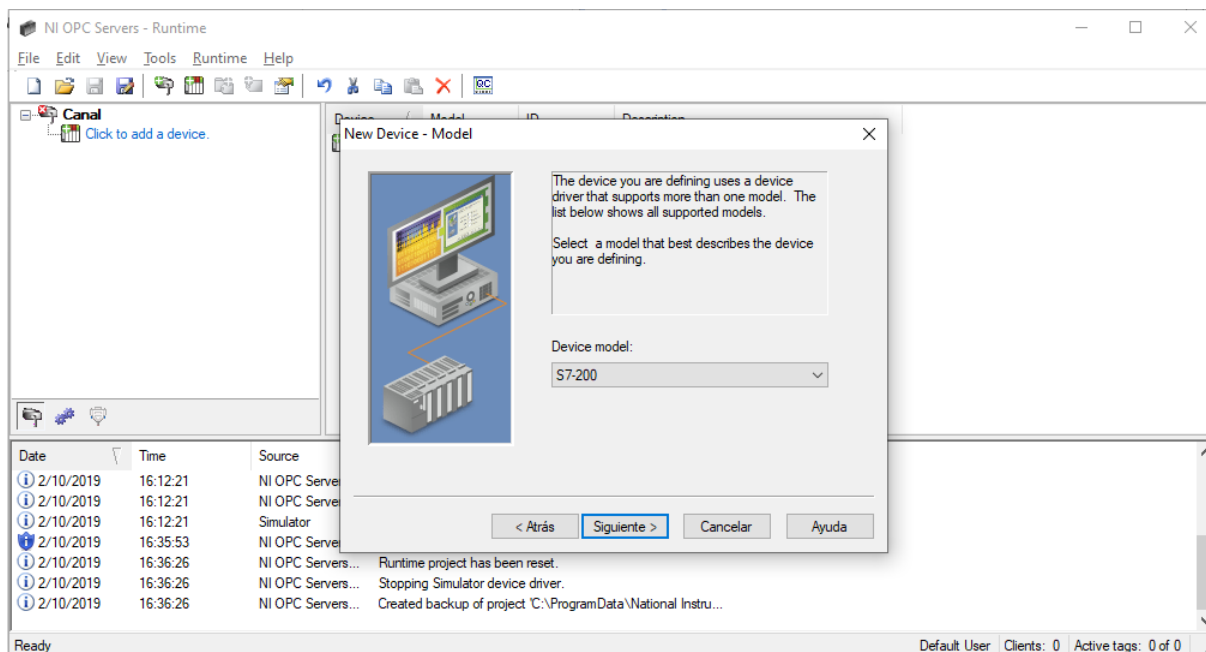


Figura 17: Paso 4 para la configuración del servidor OPC.

En este punto se enlazan las variables con la IP de la red que posee el S7-1200.

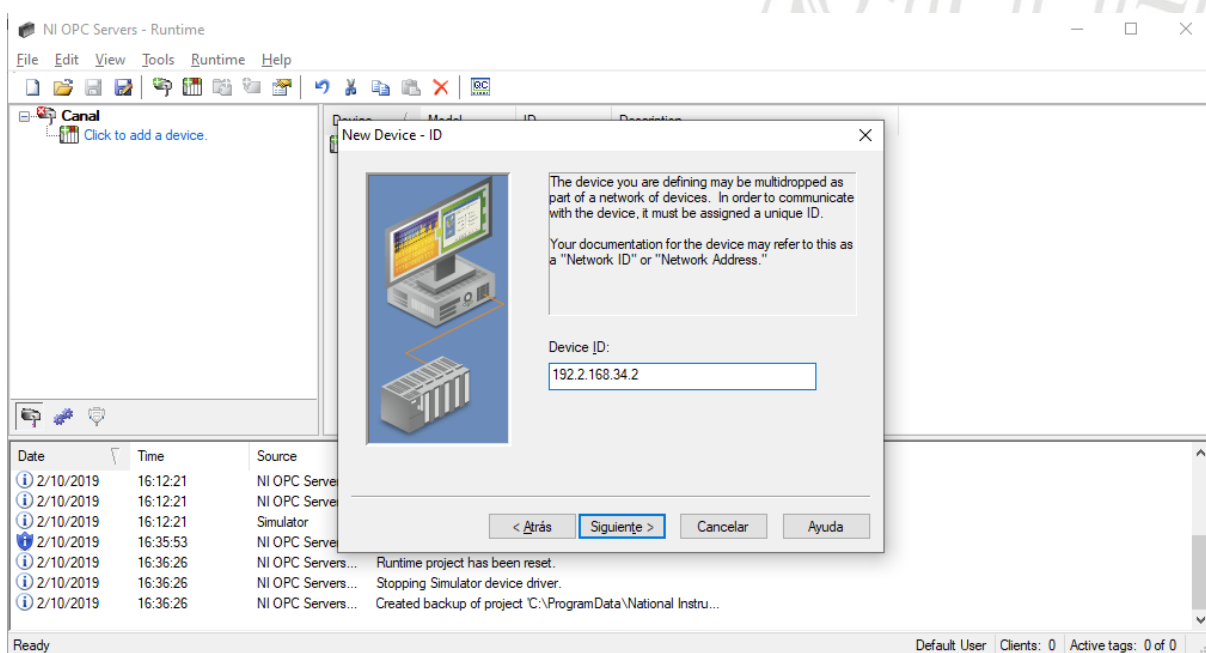


Figura 18: Paso 5 para la configuración del servidor OPC.

Finalmente, se pasó por alto la configuración de tiempos de enlace, dejando predeterminados los valores que aparecen por defecto.

Este es un ejemplo de un listado de variables compartidas entre el PLC S7-1200 y Labview, realizada en el NI OPC, para la supervisión y control del sistema de tanques.

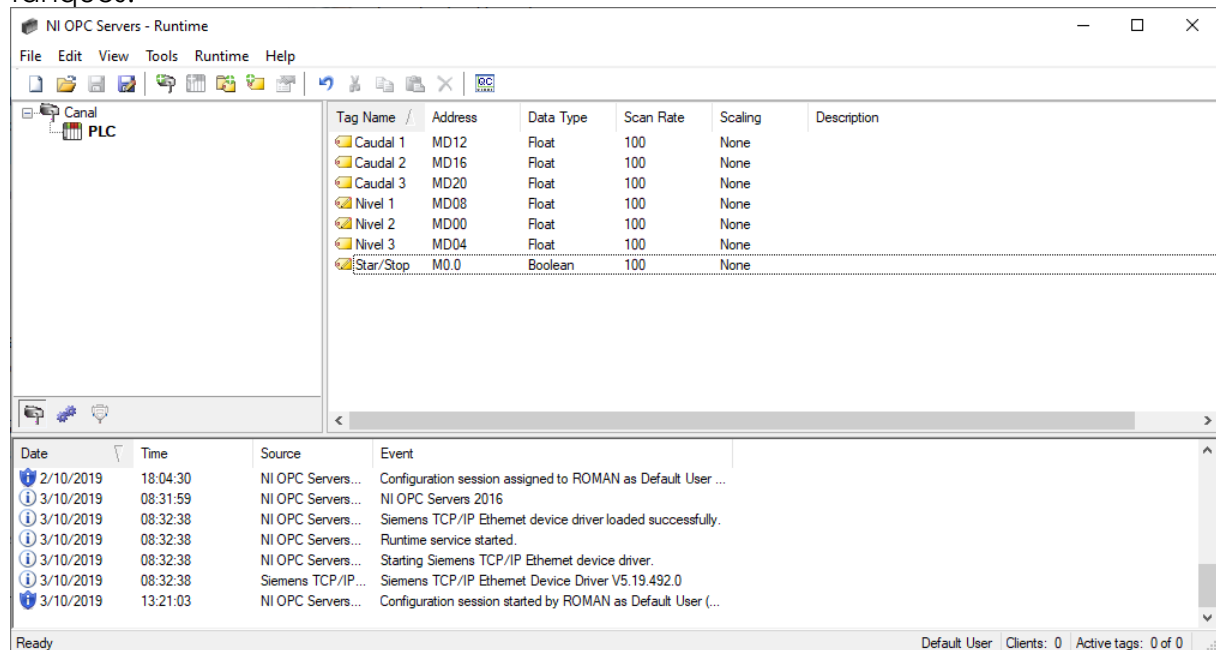


Figura 19: Paso 6 para la configuración del servidor OPC.

Aquí se aprecia las propiedades de cada variable.

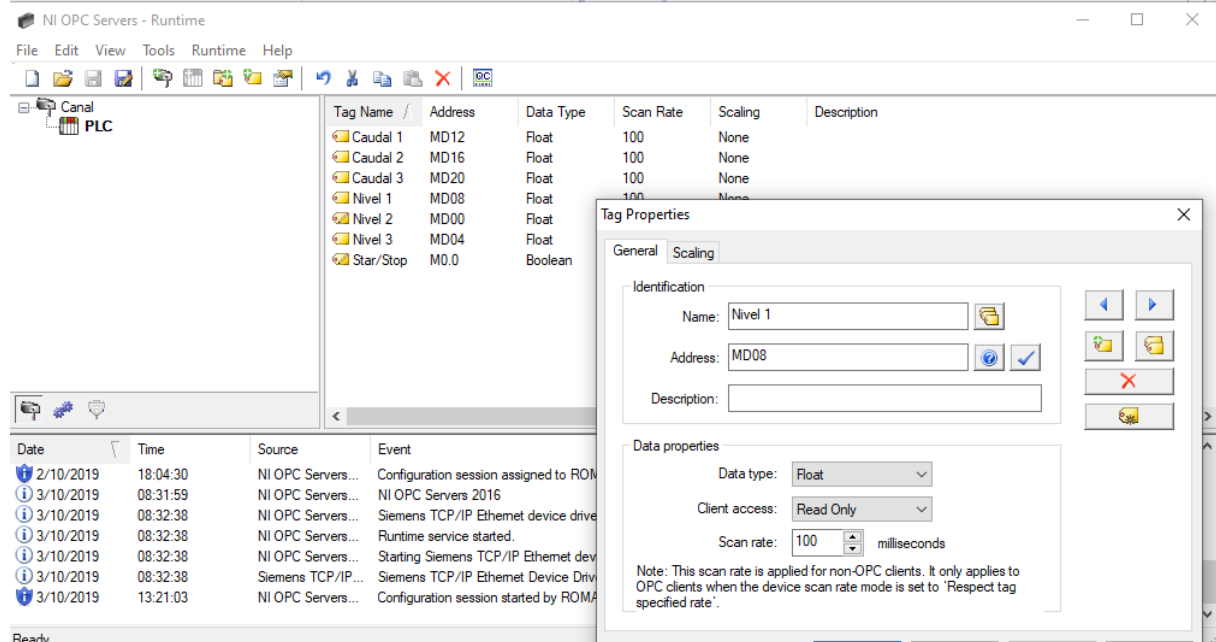


Figura 20: Paso 7 para la configuración del servidor OPC.

Para sincronizar las variables del PLC con LabView, basta con acceder a las propiedades de la variable, en la pestaña "data binding" buscamos la opción "dataSocket".

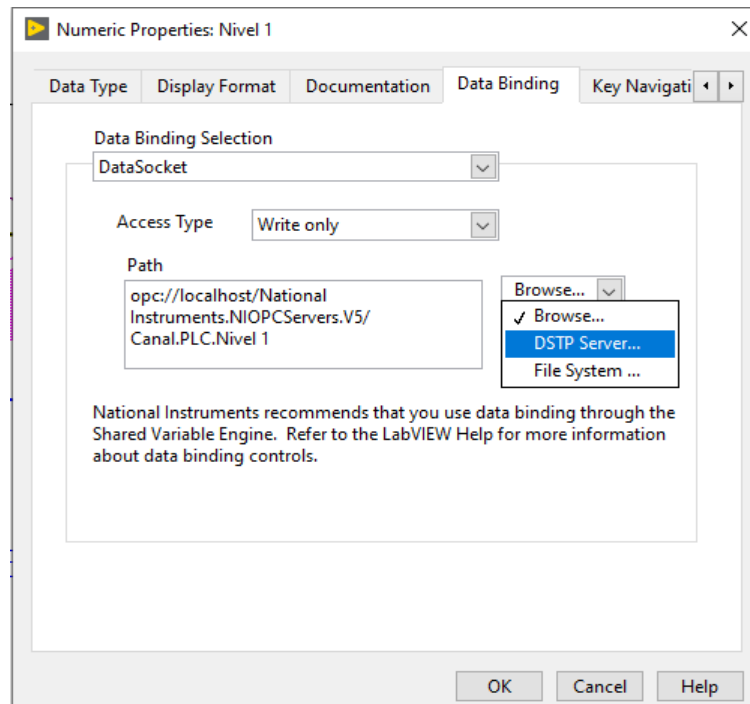


Figura 21: Paso 8 para la configuración del servidor OPC.

Posteriormente buscamos la ruta donde se encuentra alojado el tag creado en el servidor OPC dándole click sobre DSTP server.

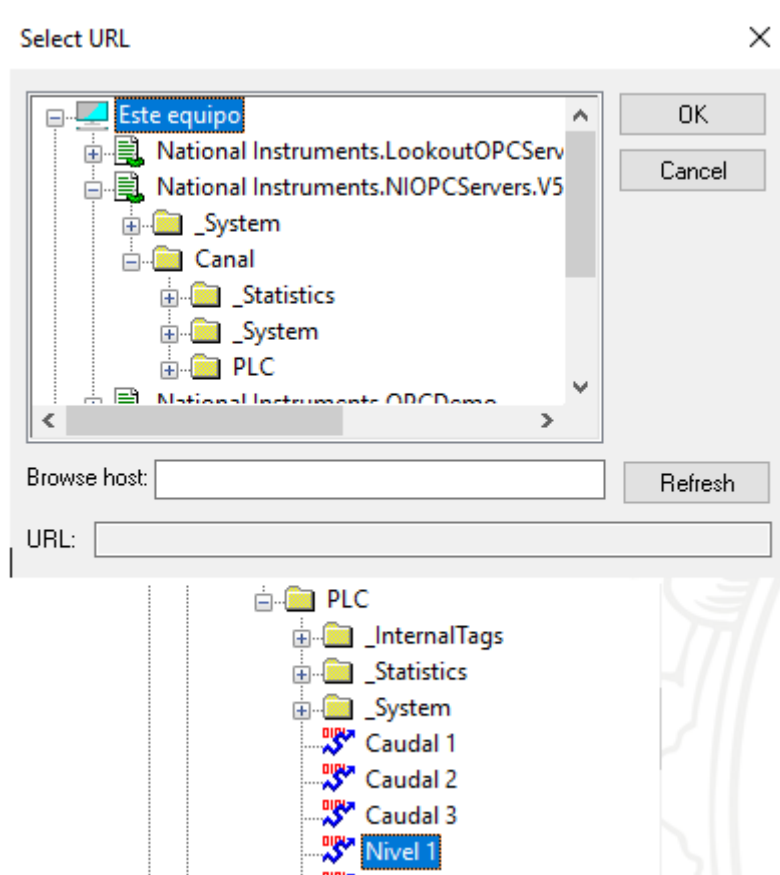


Figura 22: Paso 9 para la configuración del servidor OPC.

5- Validación de la operación del sistema mediante la implementación de un controlador simple y visualización de los procedimientos de trabajo y el modo de operación del modelo terminado.

Como se muestra en la figura siguiente, en el entorno de LabView, se creó un controlador simple ON-OFF con el propósito de probar la funcionalidad del proyecto. Esta implementación hace lo siguiente: La motobomba se encenderá inicialmente para llevar agua al sistema, apagándose automáticamente cuando el nivel del tanque A llegue a 15 cm. Posteriormente, cuando el nivel del agua del tanque A descienda a 5 cm, se encenderá la motobomba nuevamente, hasta que el nivel de este tanque alcance un nivel de 15 cm nuevamente. En el momento en que uno de estos dos casos ocurra, se enviará la orden de control para que la motobomba cambie de estado nuevamente, siempre y cuando el botón Start/Stop esté activo. Nota: Para este experimento las válvulas permanecen abiertas.

Start/Stop

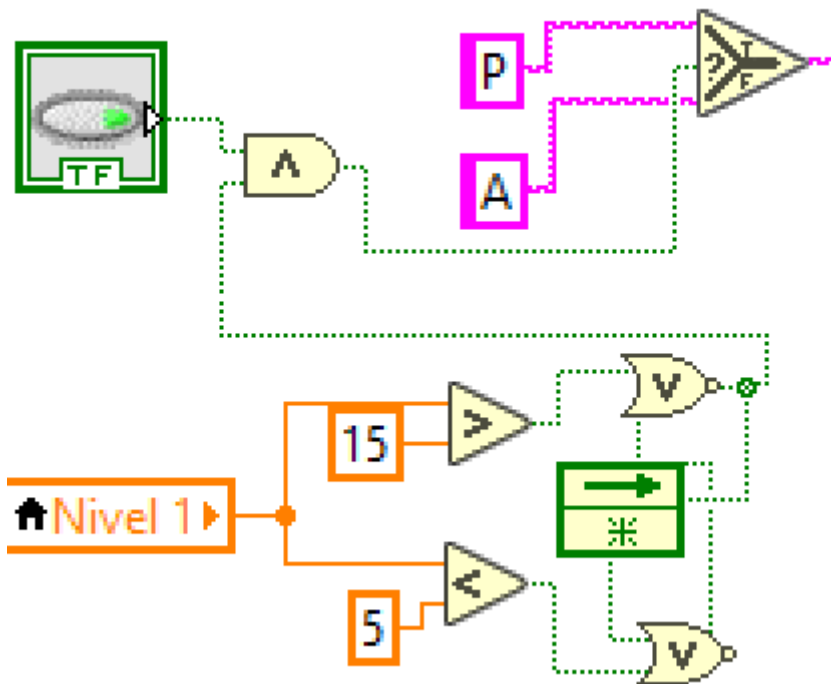


Figura 23: Controlador simple implementado.

Finalmente a continuación se muestra toda la implementación creada, tanto virtual como físicamente.

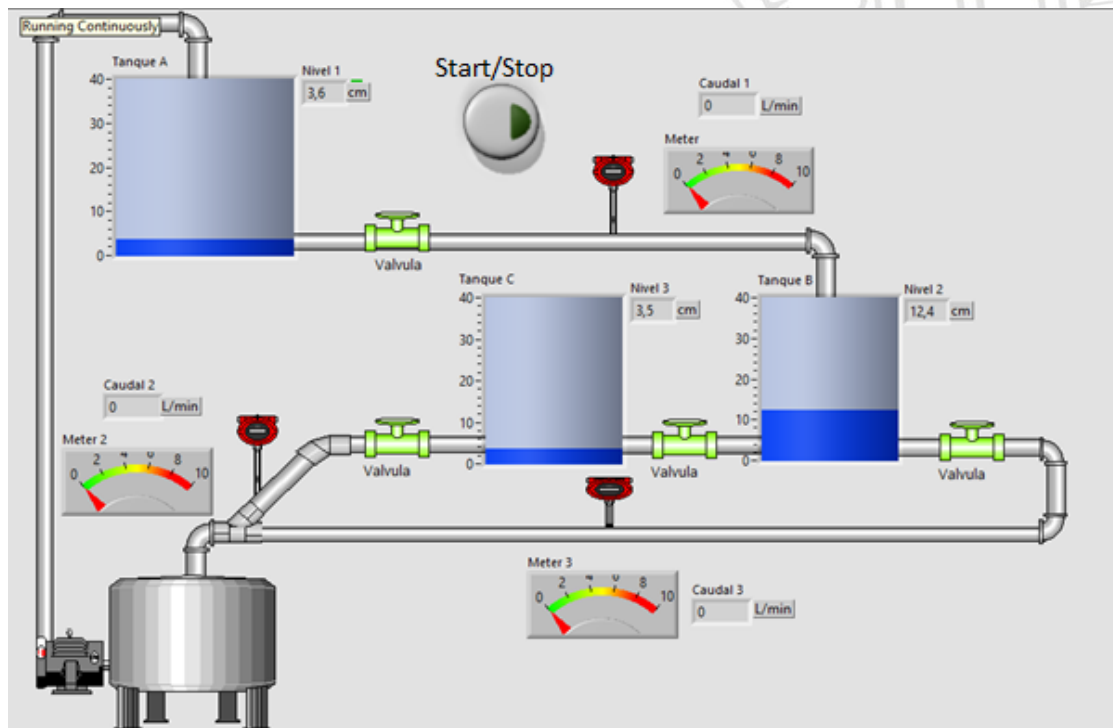


Figura 24: Interfaz gráfica de monitoreo de la planta.



Figura 25: Planta en funcionamiento.

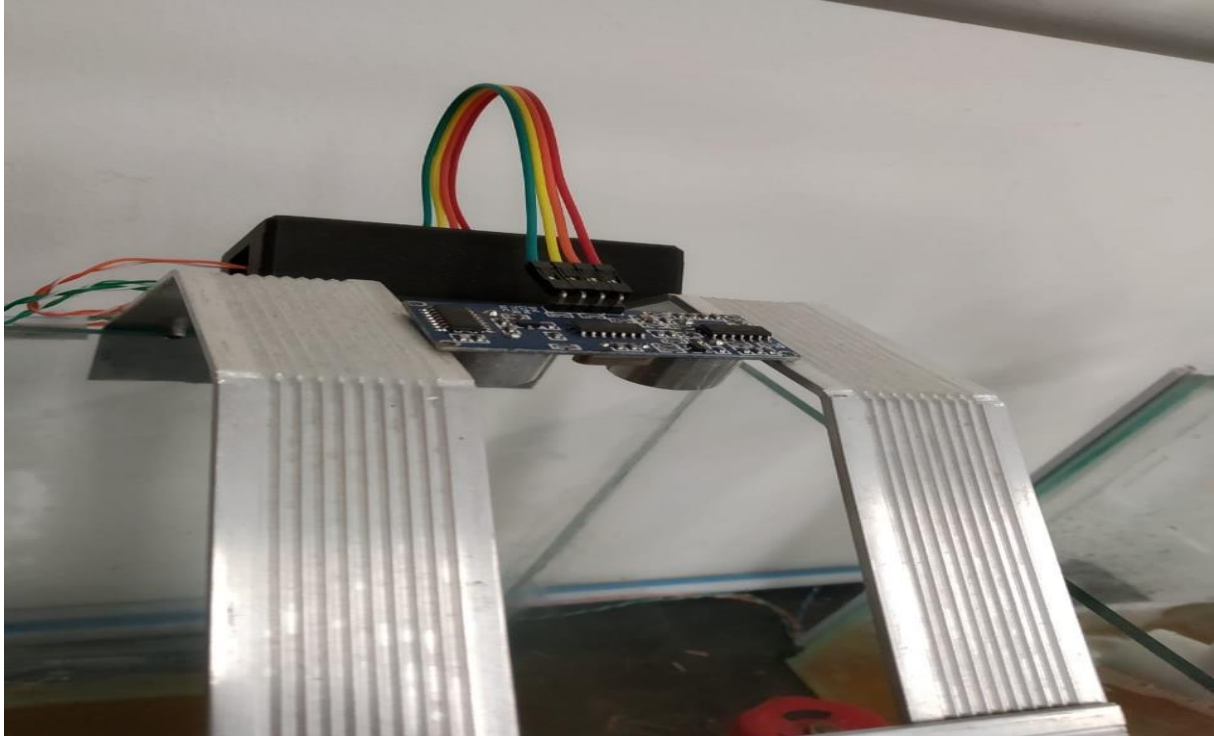


Figura 26: Sensor de nivel montado en la planta.



Figura 27: Sensor de flujo montado en la planta.

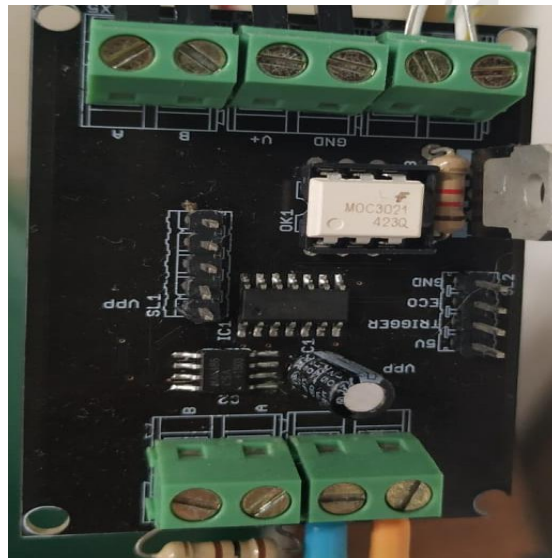


Figura 28: Tarjeta encargada de dar la orden de control.

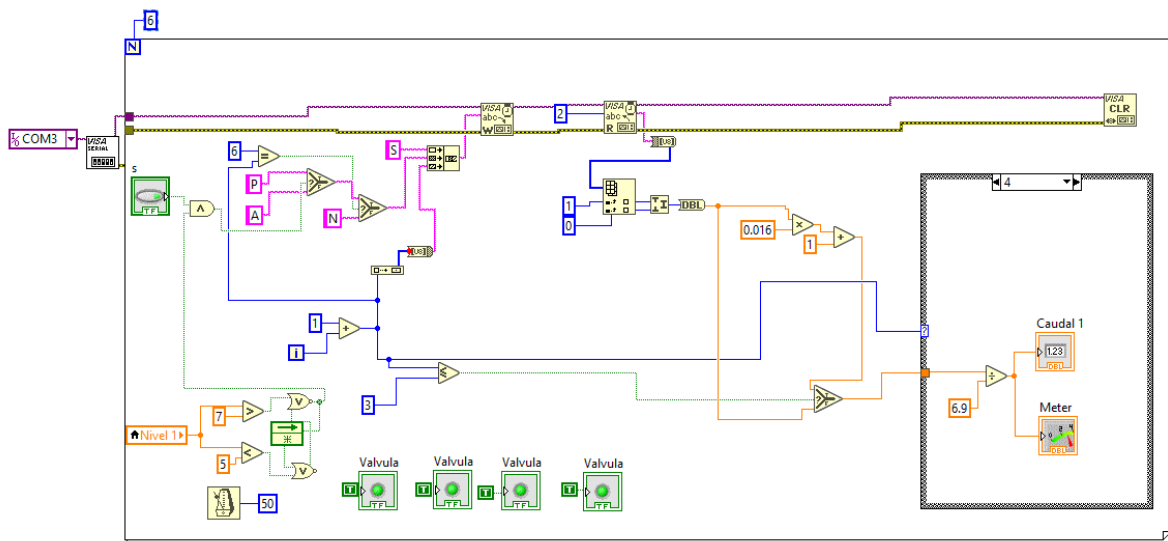


Figura 29: Esquemático para el monitoreo y control de la planta.

Resultados y análisis

- EL sensor YF-S201 bajo el efecto Hall, y con la fórmula de conversión implementada, es funcional para medir el caudal de agua que discurre por las tuberías del sistema, objeto del presente trabajo.
- Igualmente, la fórmula de conversión aplicada para medir el nivel de agua de los tanques con los sensores de ultrasonido, funciona con un bajo margen de error.
- Es posible implementar un sistema SCADA que controle dos tipos de sensores, y emita órdenes sujetas a condiciones predeterminadas del maestro, en el sistema de tanques y tuberías objeto de este trabajo.
- Se logró crear una comunicación con un servidor OPC creando variables para la posterior comunicación con un PLC S7-1200 y la interfaz de LabView.
- Se creó un sistema capaz transformar una planta que no estaba en funcionamiento por una totalmente funcional, con un sistema automático y fácil de controlar, además de que quedo abierto a la posibilidad de adquirir nuevos avances como lo son el control sobre las válvulas.

Conclusiones

Pese a la limitación que supuso, el hecho de que la motobomba fuese monofásica y sus válvulas fueren manuales, el sistema resultó ser funcional a efectos de, no solo medir, con un bajo margen de error, tanto el caudal del agua como el nivel de la misma en los tanques, sino que también permitió, implementar un controlador simple que funciona bajo condiciones sobre los datos que arrojan los sensores.

La aplicación en LabView cumple las especificaciones planteadas, tanto las funcionales como las estéticas. La interfaz permite visualizar en tiempo real el estado del nivel y flujo de agua que corre por el sistema, gracias a que el maestro puede solicitar mediante el bus de comunicación rs-485 creado, las señales que capta el microcontrolador de los sensores, además de enviar la orden de control de encendido del motor.

El microcontrolador PIC resultó ser muy eficiente a la hora de recibir las señales procedentes de los sensores y transmitir las al bus, gracias a que su velocidad de procesamiento era suficientemente alta para las necesidades requeridas para este proyecto.

El diseño e implementación del sistema SCADA que se realizó en la planta de tanques de agua del laboratorio de Automática, garantizó la gestión de los dispositivos de campo gracias a la red implementada, otorgando beneficios en el control y mejorando las experiencias al usuario.

Al implementar a gran escala este proyecto, podría ser de mucha ayuda para las empresas y centros de tratamiento de agua (acueductos urbanos y rurales) y alcantarillado ya que se podría optimizar el uso del agua al tener en constante monitoreo los niveles y el flujo del líquido que entra y sale de estos centros, evitando así derroches por inundaciones en los tanques y fugas u obstrucciones que se puedan presentar en tuberías.

Referencias Bibliográficas

- [1] K. Ogata. *Ingeniería de Control Moderna*. 5ta edición. Barcelona: Pearson Education. 2010.
- [2] A. Creus. *Instrumentación industrial*. 8va edición. México: Alfaomega. 2010. Cap 5, p. 195-234.
- [3] Naylampmechatronics. Sensor Ultrasonido HC-SR04. [En Línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html> Accedido en: Ago., 1, 2019

- [4] S. Torres (2014). Sensores de flujo, principios de medición. [En Línea]. Disponible en: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sensores-de-flujo.pdf> Accedido en: Ago., 1, 2019
- [5] Vistrónica (2015). Sensor de flujo efecto hall. [En línea]. Disponible: <http://www.vistronica.com/sensores/sensor-medidor-de-flujo-yf-s201-detail.html> Accedido en: Ago., 1, 2019
- [6] Naylampmechatronics. Tutorial sensor de flujo de agua. [En línea]. Disponible: https://naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html Accedido en: Ago., 1, 2019
- [7] A. A. Velásquez; J Baena Rodríguez; Y. F. Gutiérrez Loiza. Diseño y construcción de un teslámetro digital embebido para la caracterización magnética de materiales. [En Línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/835/83533766005.pdf> Accedido en: Oct., 1, 2019
- [8] A. Rodríguez Penin. *Sistemas SCADA*, 3ra edición. México: Alfaomega. 2013. Cap 1, p 28-41.
- [9] H. Mendiburu Diaz. (2019, Agosto, 1) *SISTEMAS SCADA, Fundamento teórico*, Available: <https://www.academia.edu/31824294/Scada>
- [10] O. Weis. (Sep 23, 2019) ¿Qué es RS485? Guía de comunicación RS485. [En línea]. Disponible: <https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/> Accedido en: Sep., 25, 2019
- [11] L. García. (22 de Marzo de 2008). M.Circuitos Digitales III. Revisión de los Microcontroladores.
- [12] T. Floyd, *Fundamentos de Sistemas Digitales*, 7ma Edición, Prentice Hall
- [13] Microcontroladores. Microcontroladores PIC y sus variedades. [En línea] Disponible en: <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/> Accedido en: Ago., 5, 2019
- [14] WebRing PICmicro. La familia de los PIC como elección. [En línea] Disponible en: http://webspaces.webring.com/people/dv/valdezda/microcontroladores/am.htm#_Toc499585747 Accedido en: Ago., 7, 2019
- [15] D. Shun. (2010). Diseño y implementación de un medidor de frecuencia para frecuencias bajas. [En Línea]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10676/Mem%C3%B2ria_IV.pdf Accedido en: Ago., 31, 2019.
- [16] D. Kominek. (2009). OPC: ¿De qué se trata, y cómo funciona? "Guía para entender la Tecnología OPC". [En Línea]. Disponible en: http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infopl_net_guia_para_entender_la_tecnologia_opc.pdf Accedido en: Sep., 23, 2019.