

Diseño e implementación de un Módulo Didáctico para el estudio de sensores de nivel de Líquido en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte.

Ortiz Limaico Juan Carlos

Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

Juan.Carlos061189@gmail.com

Abstract. This project describes the design and implementation of a training module for the study of liquid level sensors, uses a local and remote control via a PLC Allen Bradley MicroLogix 1100, a pumping system and a graphical interface LabVIEW program. The graphical interface allows visualization of the main variables and generate reports in spreadsheets Microsoft Excel. The level measurement is performed by means of a floating type sensor. The pumping system control is effected by a frequency IE5. The PDI controller is developed in the PLC and the graphical interface was calculated by analyzing the data obtained from the level sensor and using the system identification toolbox Simulink blocks and MATLAB R2015a program. To check the correct operation of the PID controller.

I. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto describe el diseño e implementación de un módulo didáctico para el estudio de sensores de nivel de líquido, emplea un control local y remoto por medio de un PLC Allen Bradley MicroLogix 1100, un sistema de bombeo y una interfaz gráfica en el programa de LabVIEW. La interfaz gráfica permite la visualización de las variables más principales, así como la generación de reportes en hojas de cálculo de Microsoft Excel. La medición de nivel se realiza por medio de un sensor de tipo flotante. El control del sistema

de bombeo se efectúa mediante un variador de frecuencia IE5. El controlador PDI es desarrollado en el PLC como en la interfaz gráfica, fue calculado mediante el análisis de los datos obtenidos del sensor de nivel y con ayuda del system identification toolbox y de simulink blocks del programa de MATLAB R2015a. Para la comprobación del correcto funcionamiento del controlador PID.

II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

Los contenidos en este trabajo quedan estructurados de la siguiente forma:

A. Presión hidrostática

La presión hidrostática es la fuerza que ejerce el líquido de forma perpendicular sobre la superficie del objeto sumergido. La presión hidrostática se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \rho \times g \times h + P_o$$

Ecuación 1. Presión hidrostática

1) *Fluidos*: Los fluidos se muestran en forma de líquidos o gases según la intensidad de sus fuerzas intermoleculares existentes, cuando se vierte un líquido a un recipiente, el líquido ocupará el volumen o la forma parcial del recipiente.

$$P = \rho \times g \times h$$

Ecuación 2. Presión

B. Velocidad en la tubería

Expresamos estas características diciendo que: “Para un mismo caudal la velocidad del líquido aumenta cuando disminuye el diámetro del ducto y viceversa”. (Czekaj,1998)

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

Ecuación 3. Velocidad en la tubería

C. Cálculo del número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional relacionado con las características del flujo, que influye notablemente en el valor de pérdidas de carga empleándose en ocasiones también para delimitar el campo de validez de las distintas expresiones de la ecuación de pérdidas más utilizadas. (Cañadas, 1993)

$$NR = \frac{\rho v d}{\mu}$$

Ecuación 4. Número de Reynolds

D. Métodos de medición directa

Creus, (2010) dice El medidor de sonda consiste en una varilla o regla graduada de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza, generalmente, en tanques de fuel-oil o gasolina. (p. 196).

E. Métodos de medición indirecta

La medición indirecta se la realiza en recipientes o tanques cerrados mediante instrumentos de medición: sensores actuadores y transmisores.

F. Sistemas de control automático

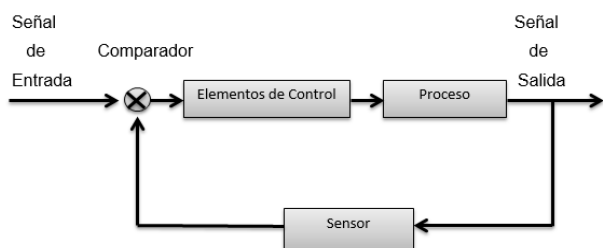


Fig. 1. Sistema de Control de Lazo Cerrado

Un sistema de control automático posee varios componentes. Para mostrar las funciones de cada componente en la ingeniería de control, se usa la representación de diagrama de bloques.

1) *Sistemas de control en lazo abierto*: Ogata (2010) dice. “Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada”. (p 8).

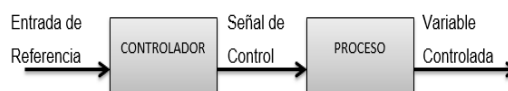


Fig. 2. Sistema de control de lazo abierto

2) *Sistema de control en lazo cerrado*: Ogata (2010) menciona. Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. (p. 7).

G. Cuando se puede utilizar el control PID

Hagglund y Åström (2009) menciona. Hay muchos requisitos sobre un sistema controlado. Debería responder bien a los cambios en el punto de consigna, debería producir acciones excesivas de control, y el sistema debería ser insensible a las variaciones del proceso. El diseño de un sistema de control también envuelve aspectos de dinámica de proceso, saturación del actuador, y características de la perturbación. Puede parecer que un controlador tan sencillo como el controlador PID pueda trabajar tan bien. La observación empírica general que es la mayoría de los procesos industriales se pueden controlar razonablemente bien con control PID a condición de las demandas sobre el comportamiento del control a condición de que las

demandas sobre el comportamiento del control no sean demasiado exigentes.

Tabla 1. Resumen de control PID

Tipo de Control	Tiempo de Subida	Sobre Impulso	Tiempo de Estabilización	Error en estado estable
Proporcional	Decrece	Crece	Cambio menor	Decrece
Proporcional Integral	Decrece	Crece	Crece	Se elimina
Proporcional Derivativo	Cambio menor	Decrece	Decrece	Cambio menor

H. Controlador Lógico Programable

Es un conjunto de dispositivos, que reemplaza a los circuitos secuenciales de relés, generalmente utilizados en control de procesos. (Regué, 1997).

1) *PLC MicroLogix 110*: MicroLogix 1100 Módulos de memoria y reloj incorporado en tiempo real; El controlador tiene un reloj incorporado en tiempo real para proporcionar una referencia para aplicaciones que necesitan un control basado en el tiempo. El controlador se envía con una cubierta del puerto del módulo de memoria en su lugar. Puede ordenar un módulo de memoria, 1763 - MM1, como un accesorio. El módulo de memoria proporciona copia de seguridad opcional del programa de usuario y datos, y es un medio para el transporte de sus programas entre los controladores.

2) *Comunicación RS- 48*: Según National Instruments: la comunicación RS-485 es una mejora significativa sobre RS-422 y la RS- 232 ya que se incrementa el número de dispositivos que se pueden conectar (de 10 a 32) y define las características necesarias para asegurar los valores adecuados de voltaje cuando se tiene la carga máxima. Gracias a esta capacidad, es posible crear redes de dispositivos conectados a un solo puerto RS-485. Esta capacidad, y la gran inmunidad al ruido, hacen que este tipo de transmisión serial sea la elección ideal de muchas aplicaciones industriales.

3) *Comunicación Ethernet*: Esta comunicación es estándar en redes de área local para computadores. Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3, siendo usualmente tomados como

sinónimos. Se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Sin embargo, las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

4) *Lenguaje de programación*: El controlador lógico programable (PLC) MicroLogix 1100 utiliza un paquete de programación de lógica en escalera, que permite una comprensión clara del sistema donde el programa RSLogix500 permite la maximización del tiempo y la reducción del tiempo en el desarrollo del proyecto.

I. Qué es LabVIEW?

LabVIEW es un lenguaje de programación construido sobre la base de objetos, sin embargo no es posible construir nuevos objetos, como pudiera hacerse con otros lenguajes como C++, Java, Pascal etc, es por ello que la manera de construir aplicaciones es a través de una metodología de programación estructurada, utilizando como recurso la implementación de funciones, que en este caso se denominan “SubVI”.

III. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

El diseño y la construcción del módulo didáctico se describen a continuación:

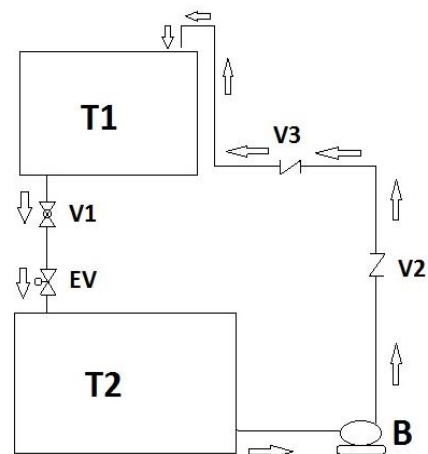


Fig. 3. Diseño del modulo

Tabla 2. Descripción y características de los elementos a ocupar en el módulo.

Código	Descripción	Características
T1	Tanque de Control	25 litros de capacidad
T2	Tanque reservorio	30 litros de capacidad
EV1	Electroválvula 1	110 voltios
B1	Bomba	Trifásica, 0.5 HP
V3	Válvula de bola	Control manual

V1	Válvula check vertical	Operación automática
V2	Válvula check horizontal	Operación automática

A. Análisis de pérdidas en la tubería

1) *Primera sección:* Esta realizado con tubería de 1", posee una longitud de 0.15 [m] y consta con los siguientes accesorios.

Tabla 3. Cálculo del coeficiente de resistencia [factor K] en el primer tramo.

Accesorio o (acople)	Cantidad	Factor K	Total F. K.
Salida brusca del tanque	1	0.78	0.78
Ampliación de ½" a 1"	1	0.07	0.07

Primero se calcula la ampliación de tubería de 1/2" a 1" empleando la siguiente ecuación.

$$K = \left[1 - \left(\frac{d1}{d2} \right)^2 \right]^2$$

Ecuación 6. Reducción de tubería.

2) *Segunda sección:* Consta de un reductor de 1" a ½", está realizado con una tubería de ½", posee una longitud de 1.20 [m] y constituye con los siguientes accesorios:

Tabla 4. Cálculo del coeficiente de resistencia [factor k] en el segundo tramo. Accesorio Cantidad Factor K Factor K total.

Accesorio o (acople)	Cantidad	Factor K	Total F. K.
Salida brusca del líquido.	1	0.78	0.78
Entrada brusca al tanque de control.	1	1	1
Unión universal	1	0.08	0.08
Codo de ½" 90°.	5	0.81	4.05
Válvula check vertical	1	11.3	11.3
Válvula check horizontal	1	1.4	1.4

TOTAL			18.1596
--------------	--	--	---------

Consta de un reductor de 1" a ½" a la salida de la bomba y seguidamente con una tubería de ½" para todo el sistema

$$K = 0.5 \left[1 - \left(\frac{d1}{d2} \right)^2 \right]^2$$

Ecuación 7. Reductor de 1" a ½"

Primero se calcula el Área de la tubería con la siguiente ecuación.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación 8. Área de la tubería.

A continuación se calcula la velocidad media en la tubería, esta se obtiene despejando la velocidad de la ecuación 1. Posteriormente se obtiene el número de Reynolds y la rugosidad relativa aplicando la ecuación 2 y 3 respectivamente. Por último se determina el coeficiente de fricción con la ayuda del diagrama de Moody.

B. Cálculo de la potencia de la bomba de agua

Para el cálculo de la potencia teórica se emplea la siguiente ecuación.

$$P_{teorica} = h_l \times \rho \times g \times Q_t$$

Ecuación 9. Potencia teórica.

Si para el cálculo de la potencia real consideramos un rendimiento mínimo del 30%, se obtiene:

$$P_{real} = P_{teorica} / 0.3$$

Ecuación 10. Potencia real.

C. Elección de los dispositivos

1) *Variador de velocidad:* Se seleccionó un variador de frecuencia IE5 con una potencia de 0.5 [Hp], cabe mencionar que se adquirió este variador por: sus características, su fácil programación y adaptación para realizar futuras practicas

2) *PLC:* Se tomó la decisión de adquirir un PLC Allen Bradley MicroLogix 1100 (1763-L16BWA), que cuenta con 12 entradas (6 a 24V DC, 4 de alta velocidad a 24V DC y 2 analógicas de 0-10V DC), 6 salidas tipo relé, una alimentación de red de 100-240V AC y una fuente de voltaje

de 24V DC a 250 mA utilizada para alimentar los dispositivos de entrada como sensores e interruptores.

3) *Medidor tipo flotante*: El sensor a utilizar en el presente proyecto es de tipo desplazamiento (flotante)



Fig.4. Elección del sensor

D. Descripción eléctrica

La sección de los conductores tendrá una relación directa con la carga a soportar en el módulo didáctico, por tal motivo se empleó conductor THHN número 14 AWG que soporta hasta 25 [A] para la etapa de potencia y conductor TFN número 18 AWG que soporta hasta 10 [A] para la etapa de control.



Fig. 5. Tablero de control

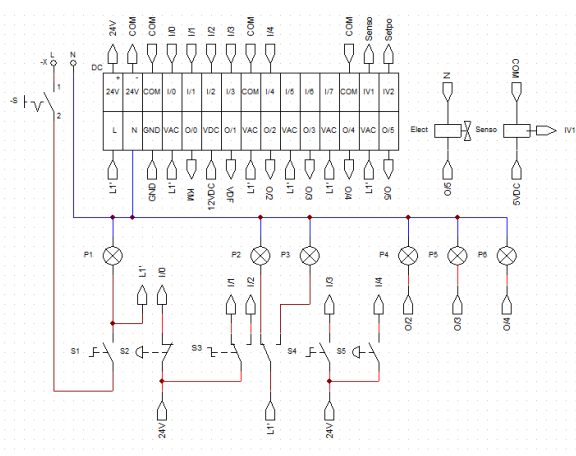


Fig. 6. Diagrama de control

IV. DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA

Su diseño se encuentra estructurado de la siguiente manera:

A. Configuración de NI OPC Servers

Una vez abierto el programa **NI OPC Servers** se debe hacer clic en el icono **New Channel** para crear un Nuevo Canal. A continuación se desplegará la ventana **New Channel – Identification** en la cual se debe asignar un nombre al canal. Seguidamente se desplegará la ventana **New Channel – Device Driver** y se seleccionará **Allen – Bradley ControlLogix Ethernet**.

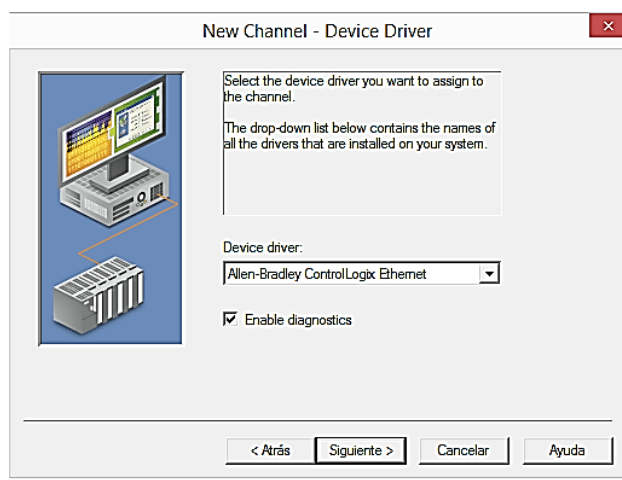


Fig. 7. Elección del PLC

En el canal que se acabó de crear se debe pinchar en **Click to add a device** y se desplegará la ventana **New Device - Name**, en esta ventana se le asignará un nombre al dispositivo. Posteriormente se desplegará la ventana **New Device - Model** en la cual se seleccionará el PLC (MicroLogix 1100).

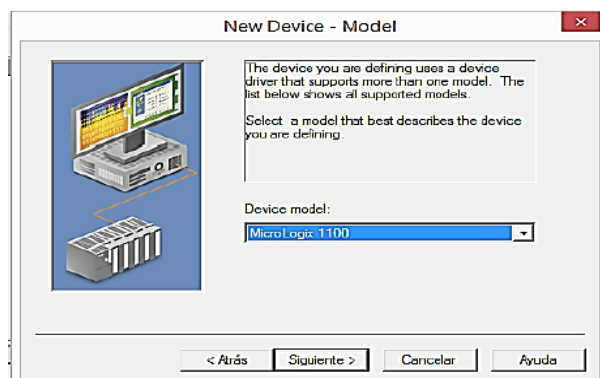


Fig. 8. Elección del modelo de PLC

A continuación se abrirá la ventana **New Device - ID** en la cual se debe ingresar la dirección IP del PLC que es **192.168.1.2**.

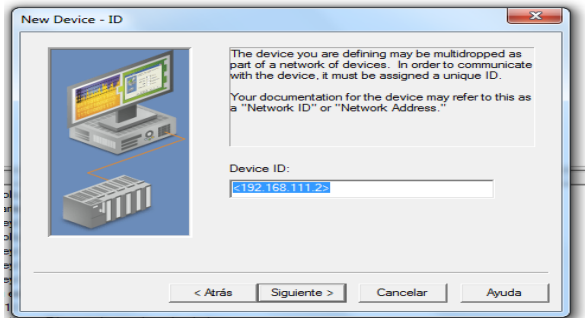


Fig. 9. Ingreso de la dirección IP

En las siguientes ventanas: **New Device – Scan Mode**, **New Device – Timing**, **New Device – Auto-Demotion**, **New Device – Database Creation** y **New Device - ENI DF1/DH+/CN Gtwy Communications**, se debe optar por dejar los parámetros por defecto.

En el dispositivo que se acabó de crear damos clic en **New Tag** y se desplegará la ventana **Tag Properties** en donde se debe introducir los datos correspondientes a la etiqueta a crear: nombre, zona de memoria del PLC, descripción, tipo de dato (Word, bool, byte, carácter, etc.)

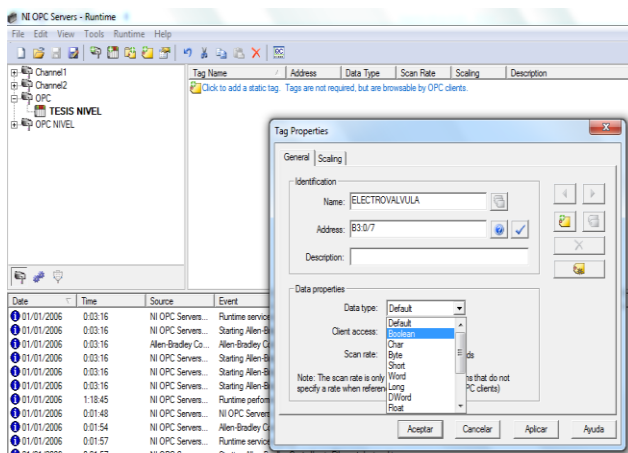


Fig. 10. Creación de tag de comunicación

B. Implementación del programa VI

1) **Lecturas y visualización de datos:** Las variables nivel, frecuencia de operación de la bomba y setpoint, se utilizó indicadores numéricos enlazados a su correspondiente dirección o etiqueta.

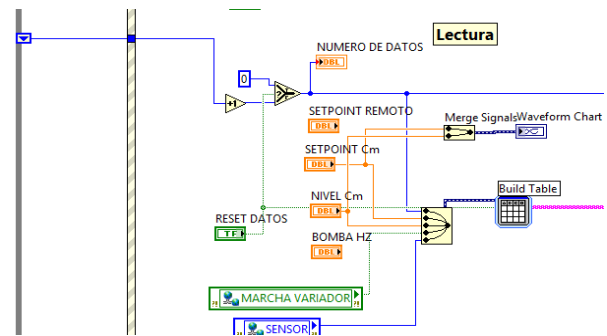


Fig. 11. Visualización de datos

2) **Generación de reporte de datos:** La generación de reporte de datos se lo realiza mediante una paleta de funciones del diagrama de bloques >> **Report Generation** >> **Excel Specific**, donde se creó una hoja de datos en Excel para generar una exportación al presionar un controlador de tipo booleano.

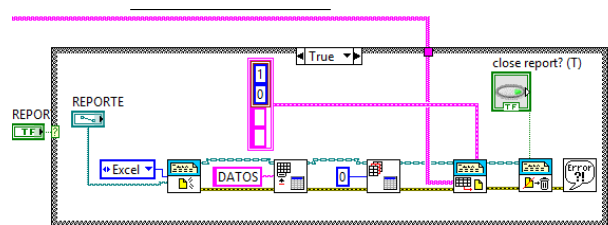


Fig. 12. Generación de reporte

3) **Indicadores gráficos de nivel:** Se muestran los indicadores gráficos de: nivel alto, bajo encendido de la electroválvula, marcha modo remoto, paro de emergencia y un indicador de nivel. Cada uno de esta enlazado con sus respectivas etiquetas de programación.

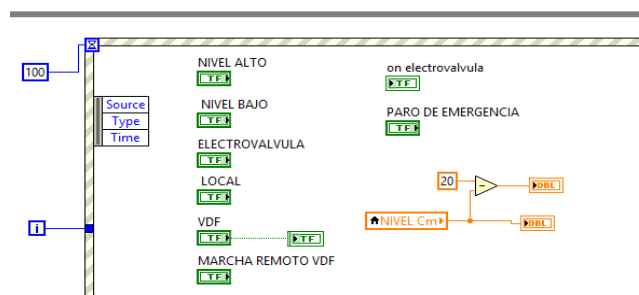


Fig. 13. Indicadores del HMI

4) **Control PID:** Para el control PID en modo remoto se requiere una estructura de acoso (verdadero), esto se consigue mediante un indicador de tipo booleano enlazado con la etiqueta de modo remoto en la programación.

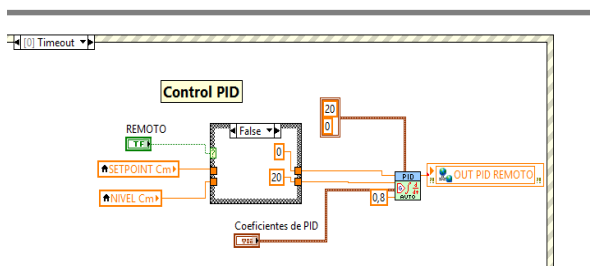


Fig. 14. Control PID

V. CÁLCULO DEL CONTROLADOR PID

A. Identificación del sistema

La herramienta System Identification de MATLAB permite hallar la función de transferencia, mediante los datos obtenidos del nivel y del setpoint en lazo abierto.

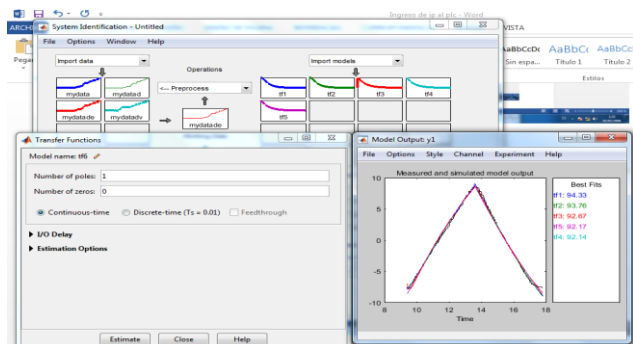


Fig. 15. Obtención de la función de transferencia

Para realizar un refinamiento del controlador se utiliza la herramienta Simulink de MATLAB y el autotuning del PID.

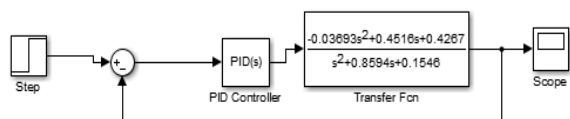


Fig. 16. Diagrama de bloques en lazo cerrado

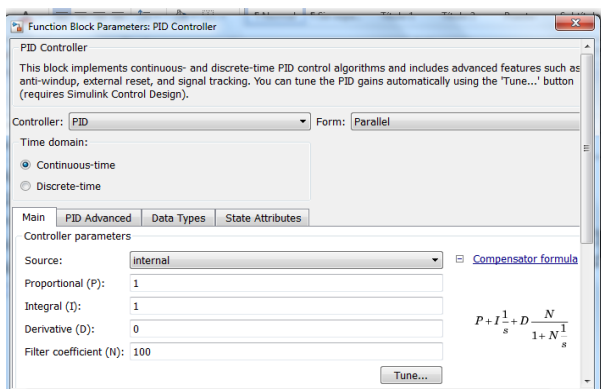


Fig. 17. Valores de PID

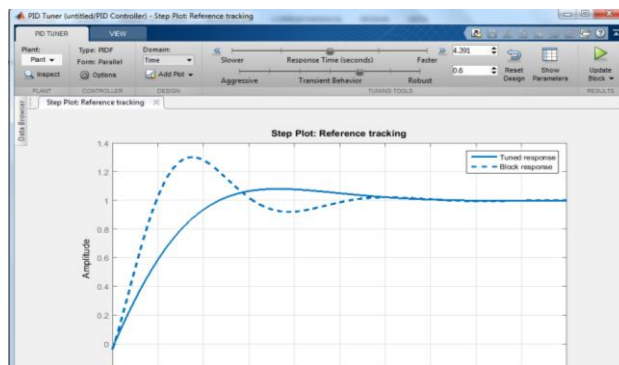


Fig. 18. Señales de PID refinado y sin refinar

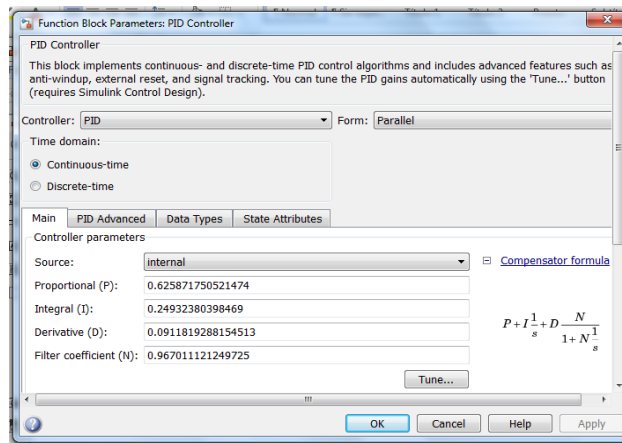


Fig. 19. Valores de PID ya refinado

VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo a las propiedades de los líquidos es preferible escoger el agua como fluido por su bajo grado de viscosidad y así evitar el desgaste de la bomba.
- Para la medición del nivel se puede escoger un sensor de tipo flotante el cual puede ser adaptado para que muestre variaciones de voltaje de 0 a 10V. Ya que el sensor es de tipo resistivo.
- Para la linealidad del sensor se utilizó una ecuación polinomial a la 7ma debido a que este sensor no era lineal para adecuar el mejor el PID de la planta, el proceso de implementación no es complicado con la ayuda de la herramienta de Matlab.
- Se puede utilizar System Identification de Matlab para encontrar el modelo matemático de la función de transferencia y el cálculo del PID en Simulink para su mejor refinamiento, sistema computarizado que fue utilizado en este trabajo de grado.
- El HMI y el control local ayudan la fácil comprensión manipulación por parte de los usuarios.

• VII. REFERENCIAS

- [1] CAÑADAS MARTINEZ, Miguel Ángel, (1993). *Hidráulica Aplicada a Proyectos de Riego*, España.
- [2] CRANE, División de ingeniería. *Flujo de Fluidos en Válvulas Accesorios y Tuberías*. México D.F., México: McGraw-Hill.
- [3] CREUS SOLÉ, Antonio, (2010). *Instrumentación Industrial*. México D.F., México: Alfaomega Grupo editor S.A.
- [4] CREUS SOLÉ, Antonio, (2009). “*Instrumentos industriales, su ajuste y calibración*”, tercera edición. México D.F., México: Alfaomega Grupo editor S.A.
- [5] CZEKAJ, Daniel, (1998). *Aplicaciones de Ingeniería*.
- [6] DE SILVA, Clarence W., (2012). *Vibration Monitoring, Testing, and Instrumentation*. Canada.
- [7] DÍAS ORTIZ, Jaime E. (2006). *Mecánica de Fluidos e Hidráulica*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- [8] FERNANDEZ, Enrique Gancedo, MERAYO, Víctor. (1999). *Esquema de Instalaciones Hidráulicas*, España.
- [9] GAVIÑO HERNANDEZ Ricardo, (2010). *Introducción a los Sistemas de Control*, Buenos Aires.
- [10] GELTRÚ, VILANOVA, (1997). *Teoría De Control Electrónico*, ediciones UPC.
- [11] GILES, Ranald., EVETT, Jack B., y LIU, Cheng. (1994). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- [12] HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto., y FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos, BAPTISTA LUCIO, María del Pilar, (2010). *Metodología de la Investigación*, McGRAW-HILL, México.
- [13] JOHNSON, Michael A., y MORADI, Mohammad H., (2005). *PID Control*. Londres: Springer – Verlag.
- [14] KARL, J., Astromm, y TORE Hagglund, (2009). *Control PID Avanzado*, España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- [15] MARTINEZ Samuel (S/F). *Reglas de sintonización para controladores PID*. México: Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.
- [16] MALONEY, Timothy J., (2006). *Electrónica Industrial Moderna*, quinta edición, PEARSON EDUCACIÓN, México.
- [17] MENDIBURU DÍAZ, Henry A., (2006). *Instrumentación Virtual Industrial*, versión e-book, Perú.
- [18] MOTT, Robert L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Pnetice hall.
- [19] OGATA, Katsui, (2010). *Mecánica de Fluidos*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- [20] PAÏDOUSSIS, Michael., y PRICE, Stuart., y DE LANGRE, Emmanuel, (2010). *Fluid-Structure Interactions: Cross-Flow-Induced Instabilities*
- [21] PACHECO CHAVIRA, Jesús N., (2010). *Medición y Control de Procesos Industriales*. México: Trillas. 034349.
- [22] PADMANABHAN, Tattamangalam R., (2000). *Industrial instrumentation*. London: principles and design, Springer-Verlag.
- [23] PEÑA DOMINGO, Joan., y GÁMIZ CARO, Juan., y GRAU SALDES, Antoni., y MARTÍNEZ GARCÍA, Herminio, (2003). *Introducción a Los Autómatas Programables*. Primera edición, UOC, Aragón.
- [24] PLACKO, Dominique, (2010). *Fundamentals of Instrumentation and Measurement*, primera edición.
- [25] REGUÉ, J., y HAYDE, J., (1997). *Control Electroneumático Moderno*, España.
- [26] SOLÉ, ANTONIO, CREUS., (1997), “*Intrumentación Industrial*”, España.

VIII AUTOR



Juan Carlos Ortiz Limaico, nace en la ciudad de Ibarra provincia de Imbabura en el año 1989. En el año 2007, obtiene el título de Bachiller Técnico Industrial en Electricidad, en el Instituto Tecnológico “17 de Julio” en la ciudad de Ibarra. Egresado de la Universidad Técnica del Norte en el año 2015 de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico.

Design and implementation of a training module for the study of liquid level sensors in the Laboratory of the School of Electrical Maintenance Engineering Technical University North.

Ortiz Limaico Juan Carlos

North Technical University, Faculty of Applied Science Engineering, Electrical Maintenance Engineering

Juan.Carlos061189@gmail.com

I. INTRODUCTION

This project describes the design and implementation of a training module for the study of liquid level sensors, uses a local and remote control via a PLC Allen Bradley MicroLogix 1100, a pumping system and a graphical interface LabVIEW program. The graphical interface allows visualization of the main variables and generate reports in spreadsheets Microsoft Excel. The level measurement is performed by means of a floating type sensor. The pumping system control is effected by a frequency IE5. The PDI controller is developed in the PLC and the graphical interface was calculated by analyzing the data obtained from the level sensor and using the system identification toolbox Simulink blocks and MATLAB R2015a program. To check the correct operation of the PID controller.

II. DEVELOPMENT OF CONTENTS

The contents of this work are structured as follows:

A. Hydrostatic pressure

The hydrostatic pressure is the force exerted by the fluid perpendicularly on the surface of the submerged object. The hydrostatic pressure is calculated with the following equation:

$$P = \rho \times g \times h + P_o$$

Equation 1. Hydrostatic pressur

1) *Fluids shown:* fluids as liquids or gases according to the intensity of their existing intermolecular forces when a liquid is poured into a container, the fluid will occupy the volume or shape of the container part.

$$P = \rho \times h \times g$$

Equation 2 Pressure

B. Velocity in the pipe

We express these characteristics saying: "For the same flow rate of the liquid increases with decreasing the diameter of the pipeline and vice versa." (Czekaj, 1998).

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

Equation 3. Speed in the pipeline

C. Calculating the number of Reinols.

The number of Reinols (Re) is a dimensionless parameter related to the flow characteristics, which significantly affects the value of losses being used sometimes also to define the scope of validity of the different expressions of the equation losses most commonly used. (Cañadas, 1993).

$$NR = \frac{\rho v d}{\mu}$$

Equation 4. Number of Reynolds

D. Direct measuring methods

Creus, (2010) said meter probe consists of a rod or ruler length suitable for inserting within the reservoir. Level determination is performed by direct reading of the length

wetted by the liquid. At the time of reading the tank should be open to atmospheric pressure. It is generally used in tanks of fuel oil or gasoline. (P. 196).

E. Indirect measuring methods

Indirect measurement is performed in containers or tanks by measuring instruments: actuators sensors and transmitters.

F. Automatic control systems

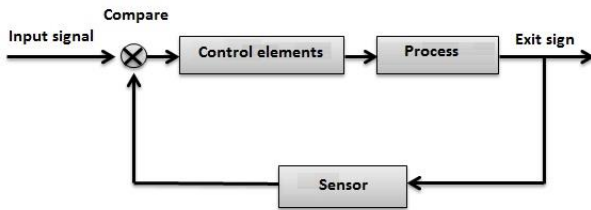


Fig. 1. System Closed Loop Control

An automatic control system has several components. To display the functions of each component in control engineering, the block diagram representation is used.

1) *Control systems in open loop:* Ogata (2010) says. "The systems in which the output has no effect on the control action systems are called open-loop control. In other words, in a system open-loop control output is not measured and fed back to compare with the entry ". (P 8).



Fig. 2. System open loop control

2) *System closed loop control:* Ogata (2010) mentions. Control systems are also referred refed systems closed loop control. In practice, the terms feedback control and closed loop control are used interchangeably. In a system of closed loop control, the controller feeds the error signal for action, which is the difference between the input signal and the feedback signal (which may be the own output or function signal output and its derivatives and / or whole), in order to reduce the error and bring the system output to a desired value. (P. 7).

G. When you can use the PID control

Hagglund and Åström (2009) mentions. There are many requirements on a controlled system. It should respond well to changes in the point, should produce excessive control actions, and the system should be insensitive to process variations. The design of a control system also involves aspects of process dynamics, actuator saturation, and characteristics of the disturbance. It may seem that such a simple controller as PID controller can work as well. The general empirical observation is that most industrial processes can be controlled reasonably well with PID control condition demands on control performance provided that the demands on the control behavior are not too demanding.

Table 1. Summary of PID control

Control Type	Rise Time	On Impulse	Settling Time	steady-state error
proportional	Decreases	Grows	minor change	Decreases
Proportional Integral	Decreases	Grows	Grows	It is eliminated
Proportional Derivative	minor change	Decreases	Decreases	minor change

H. PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

It is a set of devices, which replaces sequential relay circuits, generally used in process control. (Regué, 1997)

1) *MicroLogix PLC 110:* MicroLogix 1100 memory modules and embedded real-time clock; The controller has a built in real time to provide a reference for applications requiring time-based time clock. The controller is shipped with a port cover memory module in place. You can order a memory module, 1763 - MM1, as an accessory. The memory module provides optional backup the user program and data, and is a means to transport your programs between controllers.

2) *Communication RS- 485:* According to National Instruments: RS-485 communication is a significant improvement over RS-422 and RS-232 as the number of devices that can be connected (10 to 32) is increased and defines the characteristics necessary to ensure adequate values voltage when it is fully loaded. With this capability, you can create networks of devices connected to a single RS-

485 devices. This capability, and high noise immunity make this type of serial transmission is the ideal choice for many industrial applications.

3) *Ethernet Communication:* This communication is standard in local area networks for computers. Ethernet was taken as the basis for drafting the international standard IEEE 802.3, usually taken as being synonymous. They differ in one of the fields of the data frame. However, the Ethernet and IEEE 802.3 frames can coexist on the same network.

4) *Programming language:* The programmable logic controller (PLC) MicroLogix 1100 uses a programming package ladder logic, which allows a clear understanding of the system where the RSLogix 500 program allows maximizing time and time reduction in project development.

I. What is LabVIEW?

LabVIEW is a programming language built on the basis of objects, however it is not possible to build new objects, as could be done with other languages like C ++, Java, Pascal etc, is why the way to build applications is through a structured programming methodology, using as a resource implementing functions, which in this case are called "SubVI".

III. CONSTRUCTION MODULE

The design and construction of the training module are described below:

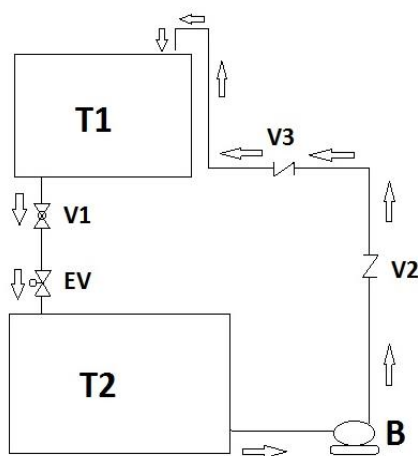


Fig. 3. Design module

Table 2. Description and characteristics of the elements to occupy in the module.

Code	Descriptions	Features
T1	Tank of control	25 liters
T2	Tank reservoir	30 liters
EV1	Solenoid	110 volts
B1	Pump	3 phase 0.5 HP
V3	Válvula de bola	Control manual
V1	Vertical check valve	Automatic operation
V2	Horizontal check valve	Automatic operation

A. Analysis pipe losses

1) *First section:* It is made with 1 "pipe, it has a length of 0.15 [m] and includes the following accessories.

Table 3. Calculation of resistance coefficient [K factor] in the first tranche.

Or accessory (coupling)	Amount	Factor K	Total F. K
Abrupt departure of tank	1	0.78	0.78
Expansion of ½ "to 1"	1	0.40	0.40
Total			1.18

First the extension pipe is calculated 1/2 "to 1" using the following equation.

$$K = \left[1 - \left(\frac{d1}{d2} \right)^2 \right]^2$$

Equation 6. Reducing pipe.

2) *Second section:* Consists of a reducer 1 "to ½", is made with a line ½ ", it has a length of 1.20 [m] and is with the following accessories:

Table 4. Calculation of resistance coefficient [k factor] in the second leg. Accessory K Factor K Factor Quantity Total

Or accessory (coupling)	Amount	Factor K	Total F. K
Entry sharp to tank of control	1	1	1
Union universal	1	0.08	
Expansion of ½ "to 1"	1	0.40	0.40
Elbow ½ " 90 °.	5	0.81	4.05
Check valve vertical	1	11.3	11.3

Check valve horizontal	1	1.4	1.4
Total	18.15		

It comprises a reducer 1 "to ½" to pump outlet and then with a pipe ½ "for the entire system.

$$K = 0.5 \left[1 - \left(\frac{d1}{d2} \right)^2 \right]^2$$

Equation 7. Reducer 1 "to ½"

First the area of the pipe is calculated using the following equation.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Equation 8. Area of the pipe.

Then the average speed is calculated in the pipeline, this is obtained by clearing the speed of equation 1. Then you get the Reynolds number and relative roughness applying equation 2 and 3 respectively. Finally coefficient is determined Friction with the help of Moody diagram.

B. Calculation of power of the water pump

To calculate the theoretical power is used as follows equation.

$$P_{teorica} = h l \times \rho \times g \times Q t$$

Equation 9.

If the calculation of the actual power consider a minimum return of 30%, you get:

$$P_{real} = P_{teorica} / 0.3$$

Equation 10. Actual power

C. Election of devices

1) *Variable speed drive:* a variable selected IE5 frequency with a power of 0.5 [HP], it mention that this drive was purchased by: their features, ease of programming and adaptation make future practices.

2) *PLC:* the decision to purchase a PLC Allen took Bradley MicroLogix 1100 (1763-L16BWA), which has with 12 inputs (6 to 24V DC, 4 high-speed 24V DC and 2 analog 0-10V DC), 6 relay outputs theme, 100-240V mains AC and

a source of 24V DC voltage at 250 mA used to power input devices such as sensors and switches.

3) *Meter floating rate:* The sensor used in the present Scroll project type (floating).



Fig. 4. Election of the sensor

D. Electric Description

Section of drivers have a direct relationship with the burden to bear in the training module, such guiding principle was used THHN number 14 AWG It supports up to 25 [A] to the power stage and driver TFN number 18 AWG supports up to 10 [A] for control stage.



Fig. 5. Control Board

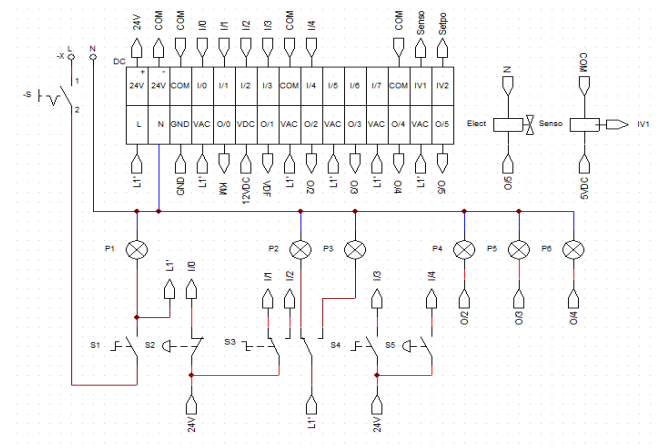


Fig. 6. Diagram Control

IV. DESIGN GUI

Its design is structured as follows:

A. Configuration NI OPC Servers

Once the program is open NI OPC Servers should be click the New Channel icon to create a new Channel. Then the New window will pop Channel - Identification in which to assign a name the channel. Then the window is displayed New Channel - Device Driver and select Allen - Bradley ControlLogix Ethernet.

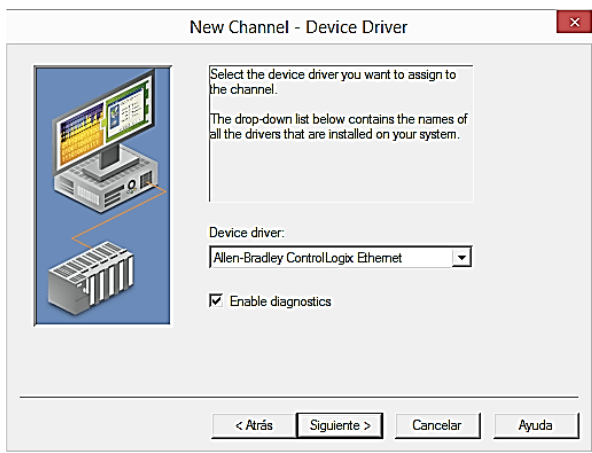


Fig. 7. Election of the PLC

In the channel you just created must click on Click to add a device and the New Device window will pop - Name, in this window will be assigned a name to device. Later the New window will pop Device - Model in which selected the PLC (MicroLogix 1100).

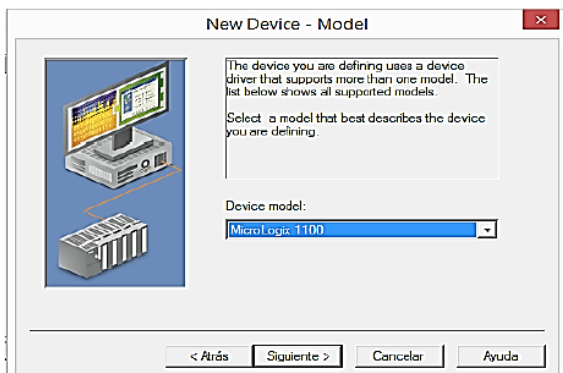


Fig. 8. Election PLC model

Then the New Device window opens - ID in the which you must enter the IP address of the PLC which is 192.168.11.2.

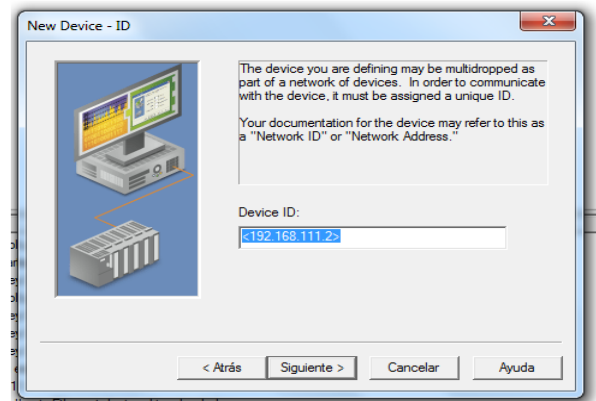


Fig. 9. Entering the IP address

In the following windows: New Device - Scan Mode, New Device - Timing, New Device - Auto-Demotion, New Device - Database Creation and New Device – ENI DF1 / DH + / CN Gtwy Communications, one should choose leave the default settings.

In the device you just created we click on New Tag and Tag Properties window will pop up where you must enter data for the label create name, memory area of the PLC, description, type Data (Word, bool, byte, character, etc.)

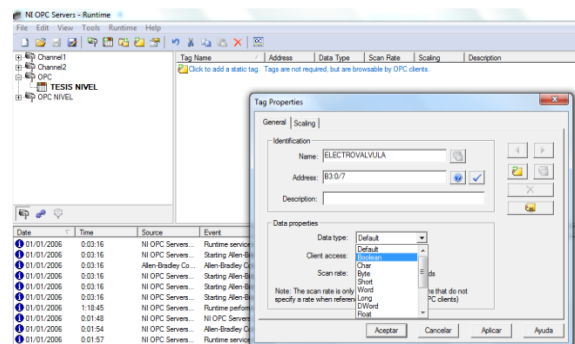


Fig. 10. Creating tag communication

B. Implementation of the program VI

1) *Readings and data display:* The variables level, operating frequency of the pump and setpoint, used numerical indicators linked to its corresponding address or label.

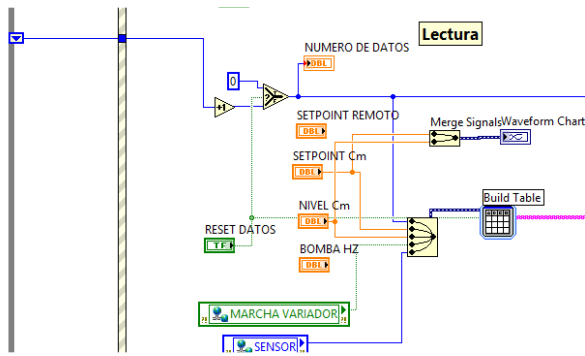


Fig. 11. Data Visualization

2) *Generation of report data:* Generation data reporting is done by a palette of functions block diagram model >> Specific Report Generation >> Excel, where one was created data sheet in Excel to generate an export to press a Boolean controller.

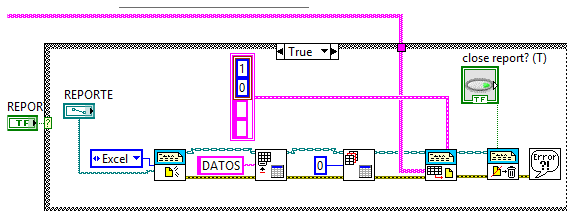


Fig. 12. Generation report

3) *Graphs level:* Graphic shows indicators: high, low On the solenoid, running remotely, unemployment emergency and a level indicator. Each of this linked to their respective labels programming.

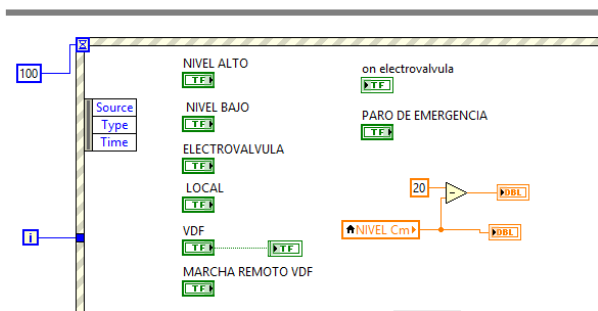


Fig. 13. Indicators HMI

4) *PID Control:* For PID control in remote mode it requires case structure (true), this is achieved by Boolean indicator linked to the label remote programming mode.

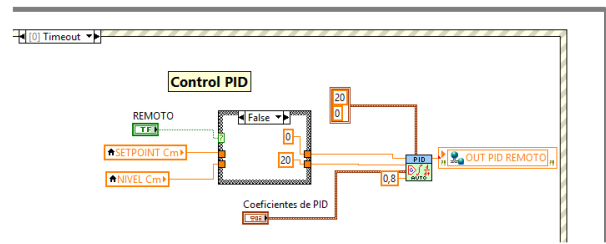


Fig. 14. PID Control

V. CALCULATION OF PID CONTROLLER

A. Identificación del sistema

The MATLAB System Identification tool allows finding the transfer function, using data from the level and open loop setpoint.

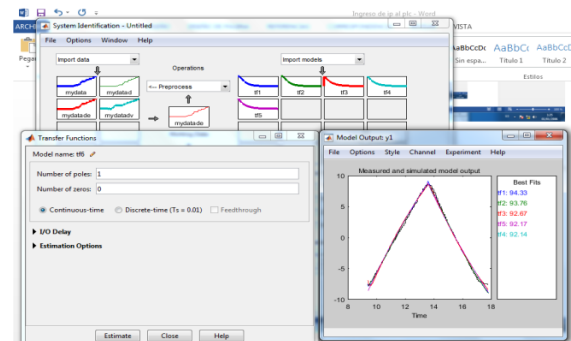


Fig. 15. Obtaining the transfer function

To make a refinement of the controller MATLAB Simulink tool and auto-tuning PID is used.

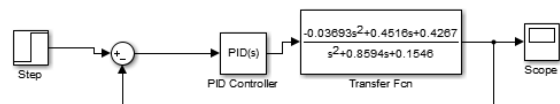


Fig. 16. Block diagram of closed loop

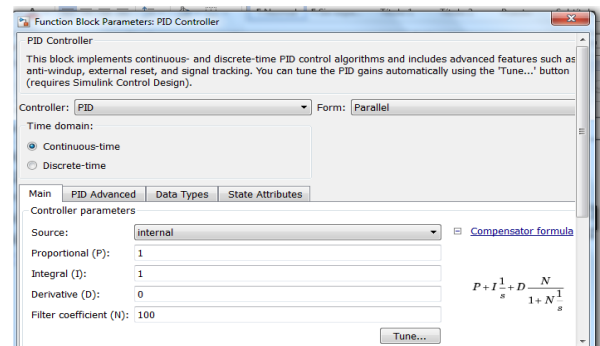


Fig. 17. PID values

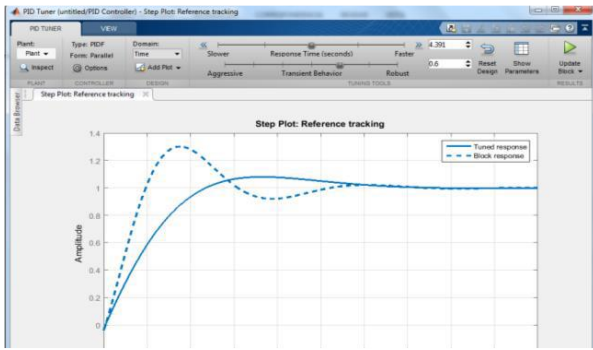


Fig. 18. Signals PID refined and unrefined

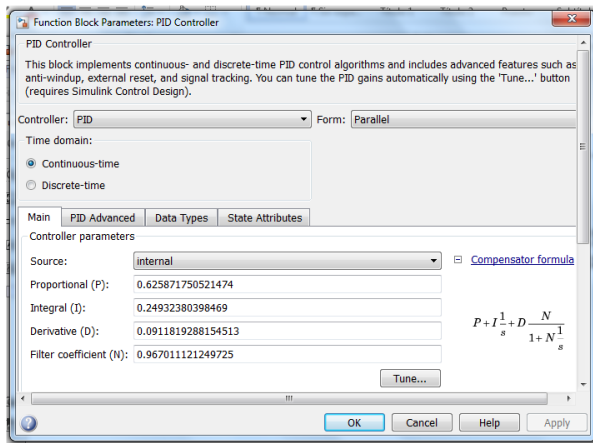


Fig. 19. PID values and refined

VI. CONCLUSIONS

- According to the properties of liquids it is preferable to choose the water as the fluid for its low viscosity grade and avoid dewater pump.
- To measure the level you can choose a floating rate sensor which can be adapted to display variations in voltage from 0 to 10V. Since the sensor is resistive.
- A polynomial equation was used to the 7th to the linearity of the sensor because this sensor was not linear to bring the best the PID of the plant, the implementation process is not complicated with the help of Matlab tool.
- Identification System can be used Matlab to find the mathematical model of the transfer function and calculation of PID in Simulink for better refinement, computerized system that was used in this paper grade.
- The HMI and local control help easy understanding and manipulation by users.

VII. REFERENCES

- [1] CAÑADAS MARTINEZ, Miguel Ángel, (1993). *Hidráulica Aplicada a Proyectos de Riego*, España.
- [2] CRANE, *División de ingeniería. Flujo de Fluidos en Válvulas Accesorios y Tuberías*. México D.F., México: McGraw-Hill.
- [3] CREUS SOLÉ, Antonio, (2010). *Instrumentación Industrial*. México D.F., México: Alfaomega Grupo editor S.A.
- [4] CREUS SOLÉ, Antonio, (2009). "Instrumentos industriales, su ajuste y calibración", tercera edición. México D.F., México: Alfaomega Grupo editor S.A.
- [5] CZEKAJ, Daniel, (1998). *Aplicaciones de Ingeniería*.
- [6] DE SILVA, Clarence W., (2012). *Vibration Monitoring, Testing, and Instrumentation*. Canada.
- [7] DÍAS ORTIZ, Jaime E. (2006). *Mecánica de Fluidos e Hidráulica*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- [8] FERNANDEZ, Enrique Gancedo, MERAYO, Víctor. (1999). *Esquema de Instalaciones Hidráulicas*, España.
- [9] GAVIÑO HERNANDEZ Ricardo, (2010). *Introducción a los Sistemas de Control*, Buenos Aires.
- [10] GELTRÚ, VILANOVA, (1997). *Teoría De Control Electrónico*, ediciones UPC.
- [11] GILES, Randal., EVETT, Jack B., y LIU, Cheng. (1994). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- [12] HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto., y FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos, BAPTISTA LUCIO, María del Pilar, (2010). *Metodología de la Investigación*, McGRAW-HILL, México.
- [13] JOHNSON, Michael A., y MORADI, Mohammad H., (2005). *PID Control*. Londres: Springer – Verlag.
- [14] KARL, J., Astromm, y TORE Hagglund, (2009). *Control PID Avanzado*, España: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- [15] MARTINEZ Samuel (S/F). *Reglas de sintonización para controladores PID*. México: Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.
- [16] MALONEY, Timothy J., (2006). *Electrónica Industrial Moderna*, quinta edición, PEARSON EDUCACIÓN, México.
- [17] MENDIBURU DÍAZ, Henry A., (2006). *Instrumentación Virtual Industrial*, versión e-book, Perú.
- [18] MOTT, Robert L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Pnetice hall.
- [19] OGATA, Katsuiiko, (2010). *Mecánica de Fluidos*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- [20] PAÏDOUSSIS, Michael., y PRICE, Stuart., y DE LANGRE, Emmanuel, (2010). *Fluid-Structure Interactions: Cross-Flow-Induced Instabilities*

- [21] PACHECO CHAVIRA, Jesús N., (2010). *Medición y Control de Procesos Industriales*. México: Trillas. 034349.
- [22] PADMANABHAN, Tattamangalam R., (2000). *Industrial instrumentation*. London: principles and design, Springer-Verlag.
- [23] PEÑA DOMINGO, Joan., y GÁMIZ CARO, Juan., y GRAU SALDES, Antoni., y MARTÍNEZ GARCÍA, Herminio, (2003). *Introducción a Los Autómatas Programables*. Primera edición, UOC, Aragón.
- [24] PLACKO, Dominique, (2010). *Fundamentals of Instrumentation and Measurement*, primera edición.
- [25] REGUÉ, J., y HAYDE, J., (1997). *Control Electroneumático Moderno*, España.
- [26] SOLÉ, ANTONIO, CREUS., (1997), “*Intrumentación Industrial*”, España.

VIII. AUTOR



Juan Carlos Ortiz Limaico, born in the city of Ibarra Imbabura province in 1989. In 2007, obtains the title of Industrial Technical Bachelor Electricity, at the Technological Institute "July 17" in the city of Ibarra. He graduated from the Technical University of the North in 2015 Electrical Maintenance Engineering.