

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INDUSTRIAL INALÁMBRICA WIRELESSHART PARA EL MONITOREO DE LAS VARIABLES TEMPERATURA, PRESIÓN, CAUDAL Y EL MONITOREO Y CONTROL DE LA VARIABLE NIVEL”

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

Navas Alex, Zambrano Jorge.

adnavasgamer91@gmail.com

georedzi@hotmail.com

Resumen:

El presente artículo explica acerca la creación y configuración de una red WirelessHART, junto con la instalación, configuración, e integración de cuatro transmisores inalámbricos de las variables más utilizadas en la industria: presión, nivel, caudal y temperatura, además, explica la integración de un posicionador que actúa sobre una válvula de control, encargada de la regulación del caudal en el proceso de nivel, permitiendo de esta forma que la misma pueda enviar información de su uso y dar un mejor diagnóstico de sí misma. Para una mejor visualización de las variables se utilizó el software LabVIEW con la ayuda del protocolo de comunicación OPC propio de los dispositivos WirelessHART hablantes.

Finalmente se realizó la comparación de los controladores clásico (proporcional integral derivativo, PID) y avanzado (Control lógico difuso, CLD) en la estación de nivel con la ayuda de un PLC Compact Logix y del transmisor de nivel inalámbrico.

Palabras clave:

WirelessHART, Redes Inalámbricas, HMI, PID, FUZZY

I. INTRODUCCIÓN

WirelessHART es un protocolo abierto que utiliza una red en malla. Actualmente el protocolo trabaja en 2.4GHz, en la banda ISM y según la IEEE 802.15.4. Este protocolo mantiene la compatibilidad con el protocolo HART tradicional. [1]

Está estructurado en bucles, donde cada sensor funciona como un router o como un repetidor. Por lo tanto, el alcance de una red no depende sólo de una puerta central y permite

la configuración de una red que cubre un área determinada. Esta es una manera proactiva para asegurar que el sistema se reinicia, dando rutas alternativas, en caso de obstrucción que podría interrumpir un canal de comunicación, mejorando así la disponibilidad de la red. [2]

Los dispositivos WirelessHART se pueden dividir en dispositivos de comunicación y de campo. Los dispositivos de comunicación forman parte de la puerta de enlace y los dispositivos de campo comprenden otros dispositivos en procesos industriales. [3]

En este trabajo se implementó una red inalámbrica WirelessHART de 4 variables (temperatura, presión, nivel y caudal), así como el control de la variable nivel, empleando dos algoritmos de control, junto con un análisis comparativo de la eficiencia de los dos controladores cuando el proceso se somete a pruebas específicas. Para la visualización se diseñó una interfaz gráfica en la cual se monitorean variables físicas de todos los dispositivos.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El laboratorio cuenta con procesos didácticos de temperatura, presión, nivel y flujo, por lo que se han colocado transmisores inalámbricos Rosemount en las estaciones de las tres primeras variables, y un transmisor alámbrico en el proceso de flujo. Para que este último transmisor pueda acoplarse a la red inalámbrica, necesita un adaptador, que tome la señal HART de 4 a 20 mA del equipo, y la transmita hacia el Gateway, para de esta manera, monitorear también a este último dispositivo alámbrico.

Además de estos cuatro transmisores, la red también tendrá acceso al estado y diagnóstico de una válvula de control que se encuentra en la planta de nivel, a la cual se le ha adaptado un posicionador, para lograr que de esta forma,

se pueda comunicar a través de HART. El posicionador también es un dispositivo alámbrico, por lo que existe la necesidad de colocar un adaptador THUM, para que pueda integrarse a la red.

En el proceso de nivel, se han implementado dos tipos de controladores, PID y CLD, ambos diseñados en el PLC COMPACT LOGIX 1769-L32E. Dentro del artículo se presentan las bondades y desventajas de cada algoritmo de control, después que el proceso fue sometido a pruebas similares para su evaluación.

Por lo tanto, los dispositivos que serán parte de la red se mencionan a continuación.

- Transmisor inalámbrico de temperatura Rosemount 648.
- Transmisor inalámbrico de presión Rosemount 3051s.
- Transmisor inalámbrico de nivel Rosemount 3308.
- Transmisor magnético de flujo Rosemount 8732E.
- Smart Wireless THUM 775.
- Posicionador DVC 6200 AC - Válvula de control BAUMAN 2400.

Es importante mencionar que cualquier dispositivo alámbrico que pueda comunicarse por medio de una señal de 4-20 mA HART puede acceder a la red con la ayuda de un adaptador THUM, tomando en cuenta que la instalación del mismo sobre el dispositivo depende de la acción de este último. Es decir, el tipo de conexión del THUM sobre el equipo depende si es un dispositivo activo o pasivo.

Finalmente, los datos correspondientes al monitoreo de los equipos se presentarán en un HMI, para lo cual existe la necesidad de utilizar un servidor OPC, y de esta forma proceder al monitoreo y diagnóstico de los equipos desde un computador.

La Figura 1 muestra un esquema general del funcionamiento de la red.

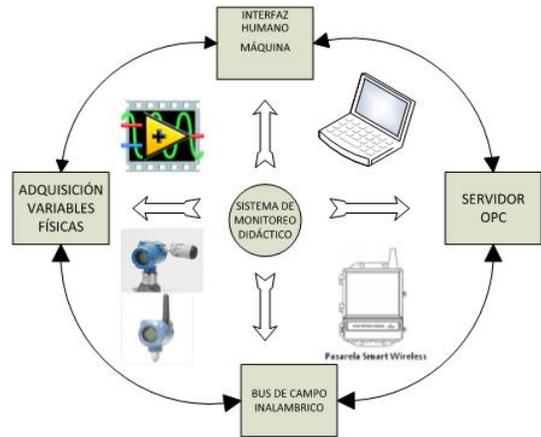


Figura 1: Esquema general del funcionamiento de la red

III. METODOLOGÍA

Se han considerado cinco etapas fundamentales para el diseño de la red WirelessHART, las cuales son: el diseño del espacio físico, la configuración del Gateway, la instalación y configuración de los dispositivos que serán parte de la red, y la creación de tags para el monitoreo de los equipos en un HMI a través de un servidor OPC propio de los equipos, y como última etapa el diseño de los dos controladores junto con su análisis comparativo.

Primera etapa:

Diseño del espacio físico de la red con la aplicación Ams Wireless Snap-On™.

Esta aplicación de EMERSON permite la elaboración de un diseño sobre el área específica de una planta, dando al usuario una visión sobre el futuro desempeño de la red en dicha planta.

Permite la inserción de los dispositivos nativos y adaptados en el lugar específico donde operaran, además de brindar un análisis de la rentabilidad de la red. De esta manera, seleccionando los dispositivos que serán parte de la red desde la misma página y especificando las características del Gateway, el diseñador tiene una clara idea de la capacidad física que dispondrá su red, como se muestra en la Figura 2.

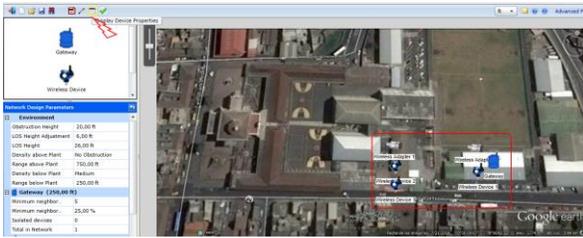


Figura 2: Diseño del espacio físico

Se debe tomar en cuenta que la distancia puede extenderse si se llegaran a unir más dispositivos al gestor, o si los dispositivos tuvieran línea de vista entre ellos.

Segunda Etapa:

Configuración del Gateway

Para que los equipos nativos y adaptados puedan unirse al gestor de la red, que es el Gateway, es necesario que previamente se establezca un “Network ID” y un conjunto de claves llamadas “Join key”, tanto en el Gateway como en cada equipo, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Network ID de la red y claves de acceso

GATEWAY	
Network ID:	16449
Joink key 1:	0000
Joink key 2:	1111
Joink key 3:	2222
Joink key 4:	3333

Para establecer estos parámetros en el Gateway, debe hacerse desde un navegador web, ingresando al gestor por medio de su dirección IP, una vez que se haya conectado el gestor al computador por medio de Ethernet, tomando en cuenta, que tanto el Gateway como el computador, se deben encontrar en el mismo dominio IP.

Tabla 2: Direcciones IP del Gateway y del Host

Equipo	Dirección IP	Máscara de subred
Computador	192.168.0.11	255.255.255.0
Gateway	192.168.0.10	255.255.255.0

Además, se pueden establecer contraseñas y usuarios adicionales a los que viene por defecto, especificando los privilegios que tendrán dentro del navegador web. Los usuarios que vienen por defecto, tienen una contraseña única que se puede modificar, solo si se ingresa como

administrador. La Tabla 3 presenta los usuarios y privilegios dentro del gestor.

Tabla 3: Niveles de usuario por defecto en el gestor

Puesto	Usuario	Acceso a la interfaz web
Ejecutivo	exec	Acceso solo de lectura
Operador	oper	Acceso solo de lectura
Mantenimiento	maint	Configurar los ajustes del dispositivo WirelessHART Configurar la estructura de exploración OPC
Administrador	admin	Incluye todos los privilegios de mantenimiento Configurar los ajustes de red Ethernet Configurar los ajustes de red WirelessHART Establecer contraseñas Establecer la hora y fecha

De forma adicional, se puede especificar si se desean que las claves sean rotatorias, para brindar una seguridad extra a la red.

Tercera etapa:

Configuración e instalación de los equipos

En el siguiente paso, se debe configurar los equipos que conformarán parte de la red. Para esto es necesario la ayuda de un comunicador de campo con el que se pueden establecer tanto el Network ID como los Joinkey, como se indica en la Figura 3. Una vez que los equipos ya tienen estos parámetros especificados, pueden acceder al gestor para ser visualizados de manera remota.

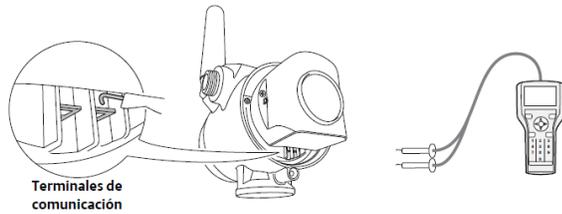


Figura 3: Conexión a un comunicador de campo

También, es necesario configurar otros parámetros de los equipos, como el rango de la variable, el tipo sensor en el caso de los transmisores, el tiempo de actualización y especificar las cuatro variables que serán enviadas hacia el gestor de la red.

La Tabla 4 muestra los parámetros que fueron configurados en cada equipo con el comunicador de campo 475.

Tabla 4: Parámetros de los transmisores

Transmisor de temperatura	Sensor	PT100, $\alpha = 385$
	Tipo de conexión	Tres Hilos
	Rango	[0 - 100] °C
Transmisor de nivel	Longitud de la sonda	90 cm
	Tamaño del tanque	90 cm
	Tipo de líquido	Agua, DC = 80
	Material del tanque	No metálico
	Rango	[0 - 100] cm
Transmisor magnético de flujo	Tipo de líquido	Agua
	Rango	[0 - 60] LPM
Transmisor de presión	Rango	[0 - 150] PSI

Posteriormente, se instalaron los equipos destinados para el monitoreo y control, como se puede apreciar en la Figura 4.



a)

b)



c)

d)

Figura 4: Transmisores de: a) temperatura; b) presión; c) nivel; d) flujo

Cuarta etapa:

Creación del servidor OPC

Para realizar la configuración del servidor OPC, el usuario deberá crear la red WirelessHART mediante la herramienta "AMS Network Configuration". Aquí se debe especificar la dirección IP correspondiente al Gateway, y se habilita la seguridad de la comunicación en la red.

Posteriormente, se debe asociar el puerto asignado por el Gateway para comunicación OPC al computador, con el uso de la aplicación OPC Security Setup. De esta forma, se permite la comunicación segura entre la pasarela y el host. Esto se logra codificando los protocolos de datos estándar utilizados por la pasarela y haciéndolos disponibles a través de varios proxies en esta aplicación. Estos proxies pueden funcionar como servidor de datos para otras aplicaciones en la red de control.

Y para finalizar se debe crear los tags de las variables que se desean presentar en el HMI, desde el navegador WEB.

Smart Wireless Gateway

HART Tag	HART status	Last update	PV	SV	TV	QV	Burst rate
FLUJO	✓	06/29/15 17:05:19	34.075 l/min	316.810 Hz	32.688 DegC	2929.733 l	8
NIVEL	✓	06/29/15 17:05:19	0.142 cm	0.158 %	20.750 DegC	7.237 V	4
POSICIONADOR	✓	06/29/15 17:05:13	10.930 mA	43.313 %	7.031 PSI	43.406 %	8
PRESION	✓	06/29/15 17:05:21	18.692 PSI	18.692 %	20.000 DegC	7.100 V	1
TEMPERATURA	✓	06/29/15 17:05:21	18.326 DegC	18.326 %	18.500 DegC	7.169 V	1

Figura 5: Variables de la red en el navegador web

Quinta etapa

Diseño de los controladores para la variable nivel

a) Diseño del Controlador FUZZY PI

Se elaboró un controlador difuso, el cual consta con dos variables de entrada error “ERROR” e integral del error “IERROR” y una única salida “CONTROLVALUE”, estas variables se obtienen externamente, es decir, ingresan previamente acondicionadas; al tener estas dos entradas el tipo de controlador toma el nombre FUZZY_PI, ya que combina las bondades de un controlador PI y un controlador difuso.

La Figura 6 muestra la estructura del controlador difuso, donde se aprecia que las entradas son el error y la integral del error, para entregar una salida, que corresponde a la variable de control, de acuerdo a las reglas establecidas.

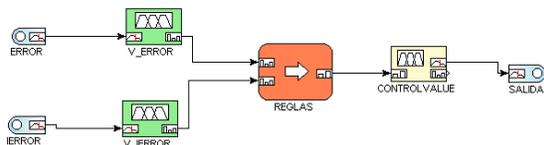


Figura 6: Estructura del controlador difuso

Una vez elaborada la estructura del sistema difuso se procede a elaborar los conjuntos de las variables lingüísticas de entrada y salida basados en el comportamiento del proceso de nivel, todas las variables poseen cinco conjuntos difusos.

La variable “ERROR” se puede observar en la Figura 7, la misma posee dos conjuntos trapezoidales y tres triangulares, los trapezoidales ocupan un mayor rango ya que al realizar un cambio del punto de consigna se requiere que el controlador entregue un valor alto en la salida, mientras que los conjuntos triangulares ayudan al establecimiento del proceso.

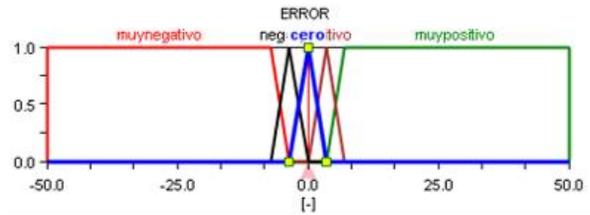


Figura 7: Conjuntos de la variable lingüística: Error

La variable “IERROR” al igual que la anterior variable posee dos conjuntos trapezoidales y tres triangulares pero su diferencia radica en que se encuentran distribuidas uniformemente con la finalidad de que aumente la velocidad en la que la variable de control reaccione ante un cambio de consigna, este valor debe ser moderado caso contrario afectaría la estabilidad del proceso.

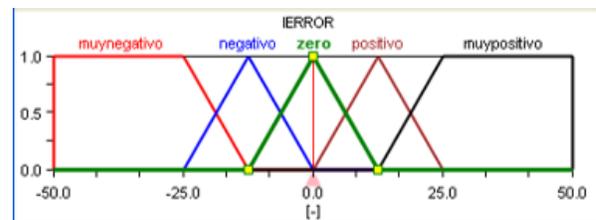


Figura 8: Conjuntos de la variable lingüística: IERROR

La variable de salida “CONTROLVALUE” está distribuida uniformemente para que el sistema sea lo más lineal posible.

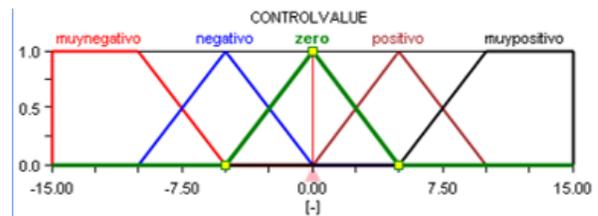


Figura 9: Conjuntos de la variable lingüística: CONTROL VALUE

Finalmente se introduce la base de reglas para que el controlador relacione las variables de entrada con la salida. La Tabla 5 muestra las reglas en donde se tiene la siguiente simbología:

- (+) Positivo.
- (++) Muy Positivo
- (0) Cero
- (-) Negativo
- (--) Muy Negativo

Tabla 5: Reglas del controlador difuso

Variable de control		Error				
		(--)	(-)	(0)	(+)	(++)
Integral del Error	(--)	(--)	(--)	0	(-)	(0)
	(-)	(--)	(-)	0	(0)	(+)
	(0)	(-)	(-)	0	(+)	(+)
	(+)	(-)	(0)	0	(+)	(++)
	(++)	(0)	(+)	0	(++)	(++)

b) Diseño del controlador PID

El control PID fue sintonizado por el método de ganancia límite y se establecieron como constantes los valores presentados en la Tabla 6.

Tabla 6: Constantes del controlador PID

Constante	Valor	Dimensión
KP	3.5	[adim]
Ti	0.00075	[min]
Td	1e-5	[min]

c) Análisis comparativo de los tipos de controles

Se han evaluado los controles PID y FUZZY PI en el proceso de nivel, realizando cinco variaciones del punto de consigna de forma alternada, es decir de forma ascendente y descendente. Los cambios fueron realizados de acuerdo a la Tabla 7.

Tabla 7: Variaciones del set point

Tipo de variación	Variación
Ascendente	[30 – 50] cm
Ascendente	[50 – 70] cm
Descendente	[70 – 40] cm
Ascendente	[40 – 60] cm
Descendente	[60 – 30] cm

Para realizar el análisis comparativo entre controladores, se deben tomar en cuenta tres aspectos fundamentales, que son el tiempo de asentamiento, el sobreimpulso en cada cambio de setpoint, y la respuesta del actuador de forma general.

Para este análisis, se obviará el sobreimpulso de la variable del proceso, pues como se ha indicado en los resultados obtenidos, no existe este parámetro.

Los resultados se indican en la Figura 10 y las conclusiones se expondrán en la última sección del artículo.

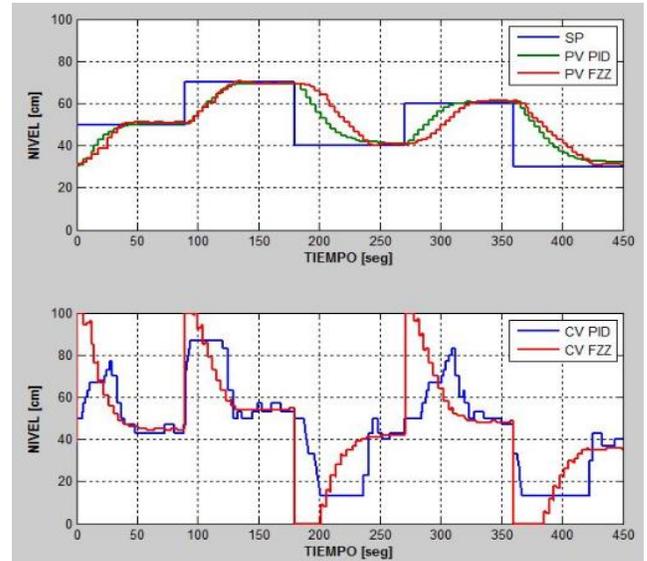


Figura 10: Resultados de las pruebas en los controladores

IV. CONCLUSIOINES

- Para obtener una adecuada comunicación entre el gestor de la red y los respectivos dispositivos nativos y adaptados, es necesario que los campos “Network ID” y “Join key” sean los mismos para todos, esto se realiza mediante el comunicador de campo 475 o el software AMS Wireless configurator en los dispositivos conectados al gestor, y con el navegador web para el Gateway.
- Para garantizar un tiempo de vida prolongado en las baterías es necesario colocar tiempos de actualización acorde a las necesidades del proceso, por lo que se colocó en el proceso de nivel el tiempo mínimo permitido por el transmisor ya que únicamente en este se realizó control, en resto de transmisores se establecieron tiempos de actualización más altos tomando en cuenta que estos solo realizan monitoreo.
- Para que un dispositivo alámbrico pueda unirse a la red WirelessHART es necesario la instalación de un adaptador inalámbrico THUM, para lo cual se realiza una determinada conexión de acuerdo al tipo de dispositivo, ya sea activo o pasivo, y se especifica en el configurador de campo 475 la consulta de las direcciones de los dos equipos.

- Para el uso del servidor OPC, es fundamental crear el enlace seguro entre el Gateway y el host (computador) mediante el uso de la aplicación Security Setup, ya que la misma utiliza un proxy específico destinado para comunicaciones OPC. Además con el uso de este servidor, es posible realizar la interacción entre equipos de diferentes tecnologías en este caso Allen Bradley y Emerson.
- En el proceso de nivel se utilizó LabVIEW como intermediario entre servidores OPC (Security Setup y RSlinx) debido al alto costo de la licencia requerida para la comunicación directa entre el Gateway y el PLC Compact Logix 1769-L32E. Dicha licencia permite que el Gateway sea añadido a la lista de dispositivos de RSlinx.
- En cambios de setpoint ascendentes, el controlador PID se estabiliza de forma más rápida, mientras que en los cambios descendentes, es el control FUZZY. Esto se debe, a que cuando el setpoint tienen una variación positiva, el controlador PID entrega el 100% en la variable de control, dando de esta forma, mayor apertura, y por ende mayor caudal, aumentando la velocidad de llenado del tanque, ante un 87% entregado por el otro controlador.
- Para cambios de setpoint descendentes, el controlador FUZZY entrega un 13% en la variable de control de manera constante, hasta que el error sea casi despreciable, logrando de esta forma un vaciado más rápido, pues el flujo no aumenta de forma proporcional mientras disminuye el error, como sucede en el controlador PID.
- Con respecto al actuador, el control difuso evita llevar a la variable de control a sus límites, evitando cerrar por completo el paso de flujo por la tubería, cuidando a la bomba y a todo el proceso en sí. Mientras que por otra parte, el PID tiene como ventaja que actúa mejor sobre la válvula, pues las variaciones de la variable de control son más pequeñas en comparación al otro controlador, alargando así, el tiempo de vida útil de la válvula.
- En los procesos industriales reales, los equipos son montados directamente en los procesos, los cuales se encuentran al aire libre, y por esta razón, tienen línea de vista, alcanzando mayores distancias, a diferencia de las condiciones actuales a las que están expuestas los dispositivos, existen obstáculos que disminuyen el rango de alcance de la red.
- El adaptador inalámbrico THUM al poseer un tiempo de actualización mínimo de ocho segundos, debería ser destinado para llevar un registro ya sea de un elemento primario o de un actuador, y en base a esta información determinar

si dichos dispositivos están recibiendo un correcto uso.

V. RECOMENDACIONES

- Utilizar direcciones IP estáticas, para garantizar la máxima disponibilidad del Gateway y no depender de un servidor DHCP, además de asegurar que la red sea accesible únicamente para personal clasificado.
- Revisar que las tres primeras series de la dirección IP tanto de la máquina física, virtual y Gateway sean las mismas para poder acceder a la red sin conflictos.
- Verificar que en la máquina virtual esté seleccionado el “adaptador puente”, habilitada la opción “cable conectado” y el respectivo medio por el cual se comunica el Gateway, ya sea inalámbrico o cableado.
- Cambiar las claves de los usuarios del Gateway para garantizar la seguridad de la red.
- Seleccionar el tiempo de actualización de los transmisores tomando en cuenta la dinámica del proceso y el tiempo de vida útil de las baterías.
- Configurar los transmisores de acuerdo a los parámetros establecidos por el fabricante en su respectiva placa de especificaciones.
- Para un mejor diseño de la red, utilizar el software SNAP-ON, el cual permite una visualización general del área física donde se colocarán los equipos, y de esta forma, conocer si su distribución están dentro de los parámetros de diseño recomendados.
- Encender primeramente el Gateway, y seguido de esto encender los dispositivos desde el más cercano hasta el más lejano tomando como referencia al Gateway.
- Para realizar control en los transmisores colocar el tiempo de actualización mínimo disponible, para garantizar un control eficiente; mientras que si el transmisor será destinado únicamente para monitoreo colocar un tiempo de actualización prudente.
- Colocar la antena de los dispositivos de manera vertical para lograr un mayor alcance.
- Configurar el THUM para que transmita directamente las variables primaria, secundaria, terciaria, cuaternaria.
- En el proceso de nivel detener el mismo antes de cambiar el tipo de controlador ya sea de PID a Difuso o viceversa.

- En el proceso de nivel utilizar el método de sintonía de ganancia límite para determinar las constantes del controlador PID.
- Para la creación de un proxy OPC asegurarse de seleccionar la opción de comunicaciones seguras para garantizar la integridad de los datos.

VI. REFERENCIAS

- [1] S. Morakinyo, Impementation of WirelessHART technology for liquid level control and monitoring, Valkeakoski: University of Applied Sciences, 2013.
- [2] J. Song, S. Han, A. Mok, D. Chen, M. Lucas y M. Nixon, «WirelessHART: Applying Wireless Technology in RealTime,» *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2008. RTAS '08. IEEE*, pp. 377-386, 2008.
- [3] M. Bustamante, G. Moreno, A. Pelaez y C. Madrigal, «Design and Implementation of an Automation Didactic Module focused to Machine Vision and Programmable Logic Control,» *Engineering Mechatronics and Automation (CIIMA), 2014 III International Congress of*, pp. 1-5, 2014.

VII. BIOGRAFÍA



Alex Navas. Nació el 25 de Julio del 1991 en la ciudad de Latacunga, cursó sus estudios en la Unidad Educativa FAE N° 5, y sus estudios superiores de Ingeniería en Electrónica en Instrumentación, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Posee una publicación en la revista INFOCIENCIA con el tema: “Evaluación del desempeño de los controladores lógico difuso y proporcional integral derivativo en una estación de caudal.”



Jorge Zambrano. . Nació el 29 de Julio del 1991 en la ciudad de Latacunga, cursó sus estudios en el Instituto Tecnológico Superior Vicente León, y sus estudios superiores de Ingeniería en Electrónica en Instrumentación, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga. Posee una publicación en la revista INFOCIENCIA con el tema: “Evaluación del desempeño de los controladores lógico difuso y proporcional integral derivativo en una estación de caudal.”