

# Sistema didáctico para el monitoreo de variables utilizando el protocolo HART en válvulas de control

## Training system for monitoring variables using the protocol HART at control valves

E. Pruna, I. Escobar, P. Calvopiña, E. Serna, M. Pilatásig, W. Freire.

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

[eppruna@espe.edu.ec](mailto:eppruna@espe.edu.ec), [ipescobar@espe.edu.ec](mailto:ipescobar@espe.edu.ec), [jpcalvopinal@espe.edu.ec](mailto:jpcalvopinal@espe.edu.ec), [emserna@espe.edu.ec](mailto:emserna@espe.edu.ec), [mapilatagsig@espe.edu.ec](mailto:mapilatagsig@espe.edu.ec), [wrfreire@espe.edu.ec](mailto:wrfreire@espe.edu.ec)

**Recibido:** Octubre 2015, **Publicado:** Diciembre 2015

**Resumen**— Este trabajo presenta un sistema didáctico de monitoreo que proporciona información del estado de la válvula de control con el protocolo HART, un análisis de las variables HART obtenidas también es mostrado, hoy en día esta información es muy importante para el control automático de plantas industriales y para el mantenimiento industrial.

**Palabras Claves**— HART, firma de una válvula, elemento de control final (ECF), PLC (Controlador lógico programable), PID (control proporcional integral derivativo).

**Abstract**— This paper presents an educational monitoring system that provides information of the control valve state with a HART protocol. An analysis of the obtained HART variables is also showed. Nowadays, this information is very useful for automatic control of industrial plants and for the industrial maintenance.

**Keywords**— HART, signature of the valve, final control element, programmable logic controller, Proportional integral derivative controller (PID).

### I. INTRODUCCIÓN

El control automático de procesos industriales en la actualidad es utilizado en una gran cantidad de industrias, por sus grandes prestaciones como son: aumento de producción y productividad, eliminar tareas tediosas y peligrosas para el ser humano, mejorar la calidad de los productos, entre otras [1-4]. Para el control automático en las plantas industriales el elemento de control final más utilizado en la actualidad son las válvulas de control [5-8], con la evolución de la tecnología y el apareamiento de los protocolos industriales se han implementado sistemas automatizados de diagnóstico de válvulas de control que permiten aumentar el tiempo de vida de estos sistemas, obtener información del funcionamiento del sistema así como permiten en la actualidad programar los diferentes tipos de mantenimiento[9-12], el protocolo más ampliamente extendido en las soluciones industriales es HART (highway addressable remote transducer), que es un

protocolo abierto de mucha utilidad en los sistemas de control[13,14], con HART se puede determinar si una válvula de control está en funcionamiento correcto o si necesita alguna acción correctiva o debe ser reemplazada.

En este contexto es necesario que existan profesionales capacitados en el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas industriales, por lo que toma una gran importancia que las instituciones de educación superior cuenten con sistemas de entrenamiento que incluya el protocolo HART.

En la actualidad en los sistemas didácticos el control automático de nivel se lo realiza con el elemento de control final (válvula de control + convertor de corriente a presión) lo que no permite el desarrollo de prácticas de laboratorio en la temática antes mencionada limitando el aprendizaje de los estudiantes en este tópico tan utilizado en la actualidad; ante esta necesidad en el presente trabajo se presenta la implementación de un sistema didáctico para el monitoreo de variables utilizando el protocolo HART en válvulas de control, el mismo que será implantado en un módulo didáctico de control automático de nivel, que permitirá a los estudiantes de las áreas técnicas obtener una formación integral donde se fortalecerá el conocimiento teórico con las prácticas de laboratorio en la temática HART, así como se presentarán las principales prestaciones de las variables HART en una válvula de control.

El presente trabajo está dividido en cinco partes como se detalla a continuación:

- i) Introducción.
- ii) Implementación del sistema de monitoreo
- iii) Resultados
- iv) Discusión
- v) Conclusiones

### II. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

En la actualidad a las válvulas de control es posible realizarle dos tipos de diagnóstico: i) en línea. Cuando la

válvula es monitoreada en funcionamiento dentro de un lazo de control automático, ii) fuera de línea. Cuando la válvula es monitoreada fuera del lazo de control automático.

La etapa de implementación está estructurada en: i) descripción del sistema, ii) integración de la red HART, iii) implementación del algoritmo de control automático

i) *Descripción del sistema.* El sistema de monitoreo se ha implementado sobre el módulo didáctico de nivel, ya que el mismo permite realizar prácticas de laboratorio del control automático de la variable nivel en una columna de 90 cm de altura, para ello existe un tanque reservorio que permite la recirculación de agua, en la instrumentación existe un transmisor que genera una señal de corriente de 4-a 20 mA en relación lineal a la altura de la columna de 0 a 90cm, para el control se utiliza un PLC, para la regulación se ha implementado una válvula de control que incluye un posicionador con comunicación HART.

A continuación se presenta el diagrama de bloques del sistema implementado.

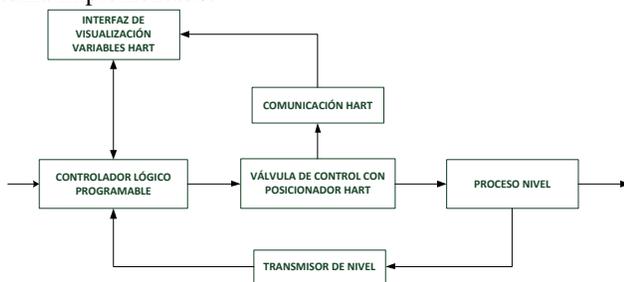


Fig. 1 Diagrama de bloques del sistema implementado

ii) *Integración de la red HART.* El controlador digital de la válvula, es un instrumento inteligente de campo con capacidad de comunicarse mediante protocolos tales como Fieldbus y HART, de nuestro interés es aprovechar el protocolo HART que permite establecer una comunicación digital sobre el mismo bucle de dos hilos que proporciona la señal de control del proceso de (4-20 mA), sin interrumpir esta señal. De esta manera, se puede utilizar para el control automático de nivel y al mismo tiempo para diagnóstico digital, monitoreo y procesamiento adicional de datos como por ejemplo la posición de la válvula, presión de alimentación, presión en el actuador, etc.

La figura 2 muestra la conexión para la comunicación HART entre un dispositivo de campo HART (posicionador) y un maestro primario HART (PC), se establece una red punto-punto entre el posicionador y la PC, para esto se utiliza un modem HART como interfaz. También se indican los terminales donde se debe conectar un maestro secundario HART (configurador de campo) que permite configurar y calibrar el instrumento de campo sin necesidad de retirarlo de su lugar de funcionamiento.

Para que esta comunicación sea exitosa se requiere que la dirección del dispositivo de campo sea cero ya que el programa operativo utiliza esta dirección para establecer la comunicación sobre el lazo 4-20 mA.

Esta red permite monitorear y registrar los valores de las

variables HART del posicionador a lo largo de su funcionamiento para su posterior análisis, esto se debe a que todos los dispositivos HART permiten adquirir cuatro variables generales, en el caso de la válvula de control la variable primaria siempre proporciona el valor de corriente de lazo actual, mientras que a las demás variables se les puede asignar parámetros como: el punto de consigna, el desplazamiento del vástago, la presión del actuador, presión de alimentación, entre otras; con fines de monitoreo del estado de la válvula y el posicionador las variables HART adquiridas en este trabajo se muestran en la tabla 1.



Fig. 2 Conexión punto-punto HART

TABLA I  
VARIABLES HART DE LA VÁLVULA DE CONTROL

Item	Variable	Rango
PV	Variable Primaria	Corriente de lazo
SV	Variable Secundaria	Punto de consigna (Desplazamiento del vástago)
TV	Variable Terciaria	Presión
QV	Variable Cuaternaria	Desplazamiento del vástago

Los valores proporcionados por estas variables son representados y procesados en el software Labview, mediante el servidor HART, para que esta información sea de mayor utilidad al usuario se han desarrollado algoritmos que permiten implementar dos opciones de monitoreo para el conjunto válvula – posicionador, que son: el monitoreo en línea y fuera de línea. En el monitoreo en línea se puede observar el comportamiento del posicionador y la válvula en tiempo real mediante los registros gráficos de las variables HART: Desplazamiento del vástago y Presión del actuador, en contraste con la variable HART, Punto de consigna del desplazamiento del vástago y la variable de control respectivamente, esta última es entregada por el PLC. Para el monitoreo fuera de línea se utiliza el método de la firma de la válvula que se basa en el registro gráfico de la relación entre la presión del actuador y el desplazamiento del vástago, para su obtención se requiere que la válvula esté in-situ pero fuera de servicio.

Para ambos tipos de monitoreo se manipula la corriente de lazo que es proporcional a la presión del actuador que modifica el desplazamiento del vástago en la válvula. Si la válvula se encuentra en servicio debe comportarse acorde a las acciones comandadas por el control automático existente en

un proceso; mientras que si se encuentra fuera de línea debe responder a valores de corriente generados automáticamente por el programa de monitoreo, para cualquiera de las alternativas la variable modificada es la corriente de lazo.

La figura 3 muestra el sistema didáctico implementado, que nos permite el control del nivel de agua en el depósito y simultáneamente la adquisición de información HART para el monitoreo en línea y fuera de línea.

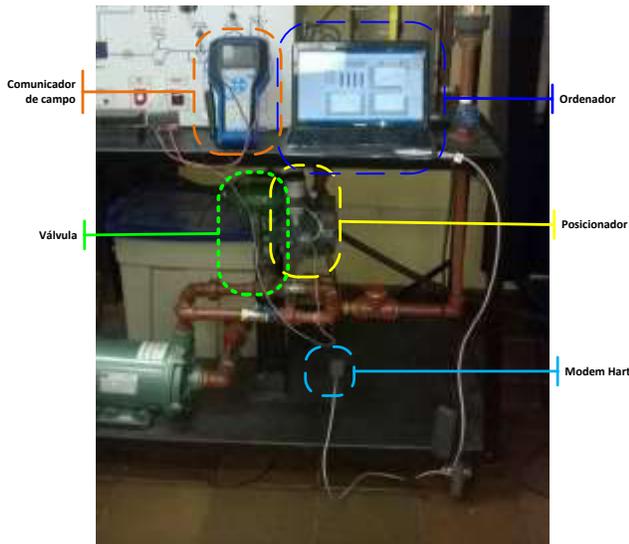


Fig. 3 Sistema didáctico implementado

iii) *Implementación del algoritmo de control automático.* Para la implementación del monitoreo en línea de la válvula de control es necesario que este en ejecución el control automático del proceso nivel, para ello se utilizó un PLC y se implementó el control PID por ser el más utilizado en procesos industriales [15].

Para la sintonía del controlador fue utilizado el método de ganancia límite. A continuación se presentan las constantes determinadas.

TABLA II  
CONSTANTES ÓPTIMAS DEL CONTROLADOR PID IMPLEMENTADO AL PROCESO NIVEL

Controlador PID	Constantes
KP	3
TI	0,075 min
TD	0,00001 min

### III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del sistema didáctico implementado en el siguiente orden: i) monitoreo en línea, ii) monitoreo fuera de línea y iii) control automático del proceso nivel en el que es utilizada como elemento de control final la válvula en estudio.

i. *Monitoreo en línea* El monitoreo en línea permite verificar que exista una variación proporcional entre la corriente de lazo y la variación de presión en el elemento de control final cuando la válvula está trabajando en el control

automático de nivel. Por lo expresado anteriormente en la figura 4 el usuario puede determinar en línea que la válvula de control presenta una variación de corriente de manera proporcional a la variación de la presión mientras se desarrollaba un control PID; esto permite determinar que la válvula de control muestra un correcto funcionamiento en el lazo de control que se encuentra implementada.

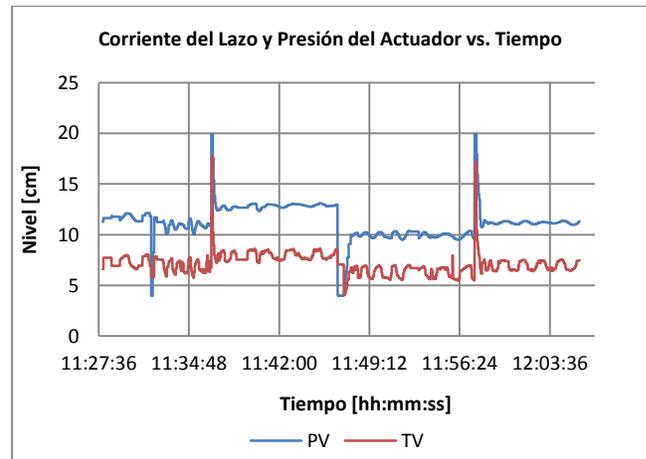


Fig. 4 Datos HART: corriente de lazo (PV) y presión del actuador (TV).

También es importante conocer la información de una válvula de control relacionada al porcentaje de desplazamiento y punto de consigna del desplazamiento del vástago en el tiempo, lo que permite determinar que la válvula de control no posee pegue o stiction, situación que no permitiría realizar el desplazamiento adecuado de acuerdo a la regulación requerida por el control automático. En este contexto el usuario puede observar en la figura 5 que existe un correcto desplazamiento del vástago en relación al punto de consigna, lo que determina que la válvula de control se encuentra operada de forma adecuada.



Fig. 5 Datos HART: porcentaje de desplazamiento vástago (QV) y punto de consigna de desplazamiento del vástago (SV).

ii. *Monitoreo fuera de línea* El monitoreo fuera de línea representa la firma de la válvula que es visible en el gráfico de

la figura 6, que muestra la presión del actuador en función del desplazamiento del vástago, la línea de cierre (azul) muestra la presión cuando el vástago es ascendente y la línea de apertura (rojo) muestra la presión cuando el vástago se mueve de manera descendente.

La figura 6 permite conocer la presión inicial necesaria para que la válvula empiece a cerrarse, en este caso es de 2,5 PSI, mientras que se necesita una presión de 12 PSI para que la válvula empiece a abrirse, es decir estos valores de presión son los necesarios para vencer la fricción del actuador. Se observa también que la válvula se ha desplazado del 0 al 100% de su carrera y viceversa, los picos de los extremos de las líneas de apertura y cierre permiten verificar que la válvula alcanzó una parada sólida en ambos extremos del recorrido.

La banda diferencia de presión existente entre la línea de apertura y la de cierre representan la presión necesaria para lograr la transición del movimiento de apertura al de cierre y viceversa; en este caso la transición fue de 1,24 PSI.

La figura 6 permite al usuario determinar el estado de funcionamiento de una válvula de control cuando se encuentra fuera de servicio, para este caso la válvula de control responde de forma adecuada en los desplazamientos ascendente y descendente lo que permite establecer que la válvula se encuentra calibrada y es apta para ser utilizada en control automático.

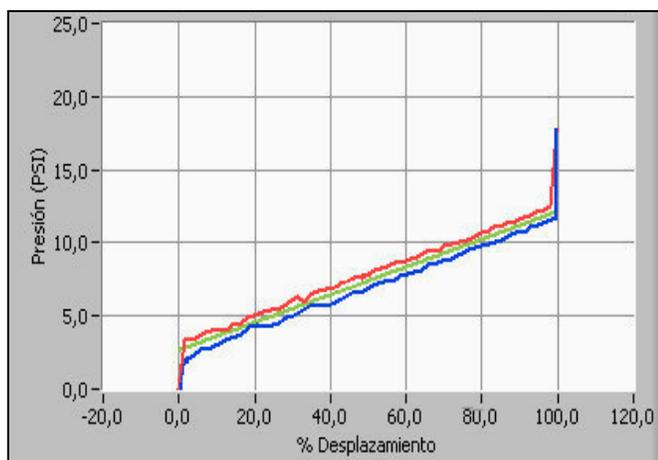


Fig. 6 Firma de la válvula

iii) *Control automático del proceso nivel.* Esta prueba ayuda a determinar el correcto desempeño de la válvula en el control. En la Fig. 7a el usuario puede ver en el control automático nivel que la variable de proceso (PV) se estabiliza en pequeños periodos de tiempo situación deseable en regulaciones automáticas. Así como también en la Fig. 7b el usuario determina que la respuesta de la válvula de control es la correcta sin presencia de oscilaciones ante cambios de consigna o set point.

#### IV. CONCLUSIONES

El sistema implementado permite a los usuarios determinar

el funcionamiento de una válvula de control gracias a la comunicación HART que se establece cuando se encuentra en servicio, situación que es imposible determinar en los elementos de control final que poseen convertidores de corriente a presión.

Este sistema permite a los estudiantes del área de instrumentación determinen el estado de una válvula de control mediante la firma de la válvula ya que permite comprobar detalladamente el estado del conjunto válvula posicionador, dando a conocer un conjunto de parámetros como: presión de transición, presión inicial para apertura y cierre, desplazamiento del vástago, rango de presión del actuador de la válvula, etc.

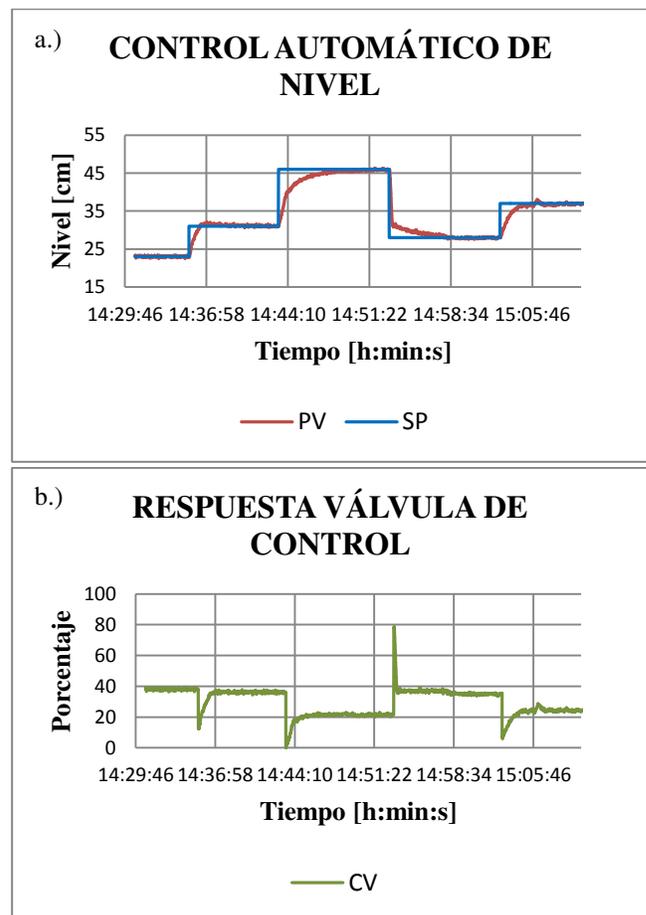


Fig. 7 Tendencias del control automático de nivel: a) set point (SP), process Value (PV) b) Señal de la válvula de control (CV).

Finalmente se puede visualizar el correcto funcionamiento de una válvula de control como parte de un sistema de control automático.

El sistema implementado es de bajo costo en relación a otros sistemas propietarios que permite realizar el monitoreo de válvulas de control y está siendo utilizado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Latacunga.

#### V. DISCUSIÓN

Al implementar el controlador digital a la válvula esta se

convirtió en un instrumento inteligente con capacidad de comunicarse mediante el protocolo HART por lo que se pudo integrar en red con una PC mediante un modem USB-HART en base a lo cual se desarrolló un sistema de monitoreo que permite llevar un registro de los parámetros de funcionamiento de la válvula paralelamente a un registro del comportamiento del sistema en sí, también se puede obtener gráficas como la firma de la válvula, la evolución de corriente, presión y desplazamiento del vástago con resultados muy satisfactorios respecto a los obtenidos con un configurador de campo, pero la comunicación HART entre el dispositivo de campo y el ordenador es unidireccional, por lo que el control se sigue desarrollando mediante la variación de corriente del lazo mientras que los datos digitales simplemente pueden ser leídos. En la actualidad existen transmisores inteligentes que se comunican directamente con el actuador, con una variación de corriente que responde a un algoritmo de control automático antes que a la variación de la señal física en sí, para el control de la variable nivel no se han desarrollado, puesto que la debilidad de la tecnología mencionada es que tiene cierto retardo de respuesta, no admisible para el control de una válvula, por lo que no es posible suprimir el controlador como elemento físico intermediario.

Con la implantación del posicionador se mejoró notablemente la señal del actuador evitando las grandes oscilaciones y se mejoró la estabilidad del sistema.

#### RECONOCIMIENTOS

Un agradecimiento a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE por el financiamiento del proyecto de investigación número 2014-PIT-030; a la Jefatura de Investigación, Innovación y transferencia de tecnología de la extensión Latacunga y al Departamento de Eléctrica y Electrónica por todo el apoyo brindado en el desarrollo del presente trabajo.

#### REFERENCIAS

- [1] N. Ulaganathan y R. Rengaswamy, «Blind identification of stiction in nonlinear process control loops,» *IEEE*, 2008.
- [2] M. Tawanda, C. Ngoni, M. Kumbirayi y C. N. Namatai, «A study into the role of Fuzzy logic systems in condition based maintenance for control of the pneumatic valve of bottle washer in beverage companies, specifically the Kronos group of companies,» *IEEE*, 2012.
- [3] Barbu, M.; Ifrim, G.A.; Ceanga, E.; Caraman, S., "Modelling of a multipurpose biotechnological plant in view of automatic control. Process modelling and control properties analysis," in *System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*, 2015 19th International Conference on , vol., no., pp.61-68, 14-16 Oct. 2015
- [4] Zhang Jing; Wu Min, "Design and implementation of an automatic control system for coke riddling process," in *Control Conference, 2008. CCC 2008. 27th Chinese* , vol., no., pp.86-89, 16-18 July 2008 doi: 10.1109/CHICC.2008.4605328
- [5] Kiesbauer, J.; Hoffmann, H., "Modern control valves with failure diagnostics," in *Control Conference (ECC), 1999 European* , vol., no., pp.350-355, Aug. 31 1999-Sept. 3 1999
- [6] Offutt, Carl R., "Computer-Controlled Transducer Systems: the "Unspecialized" Approach to Component Testing," in *Industry and General Applications, IEEE Transactions on* , vol.IGA-6, no.6, pp.638-646, Nov. 1970
- [7] Finlayson, S.; Gupta, G.S., "Instrumentation and automated control of aircraft leading edge temperature," in *Sensors Applications Symposium (SAS), 2013 IEEE* , vol., no., pp.182-187, 19-21 Feb. 2013 doi: 10.1109/SAS.2013.6493582
- [8] Jingzhuo Wang; Guolei Qiao, "Flow Rate Process Control Based on LonWorks," in *Control Conference, 2006. CCC 2006. Chinese* , vol., no., pp.1487-1490, 7-11 Aug. 2006
- [9] E. T. Ladd Jr., «Leveraging Diagnostic Data,» *Flow Control*, vol. 15, nº 10, pp. 30-34, 2009.
- [10] Wallen, A., "Valve diagnostics and automatic tuning," in *American Control Conference, 1997. Proceedings of the 1997* , vol.5, no., pp.2930-2934 vol.5, 4-6 Jun 1997
- [11] Qinghua He; Jin Wang, "Valve stiction modeling: First-principles vs data-drive approaches," in *American Control Conference (ACC), 2010* , vol., no., pp.3777-3782, June 30 2010-July 2 2010
- [12] Russell, M.J.; Lecakes, G.D.; Mandayam, S.; Jensen, S., "The "Intelligent" Valve: A Diagnostic Framework for Integrated System-Health Management of a Rocket-Engine Test Stand," in *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on* , vol.60, no.4, pp.1489-1497, April 2011
- [13] Liu Chang; Zhang Guoguang, "The Design of Intelligent Temperature Transmitter Based on HART Protocol," in *Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC), 2012 Second International Conference on* , vol., no., pp.1499-1502, 8-10 Dec. 2012
- [14] Gangyi Wang; Qunli Shang; Shan-en Yu; Sheng Yang, "Design of PC Communication with HART Field Instrumentation," in *Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE), 2012 International Conference on* , vol.3, no., pp.299-302, 23-25 March 2012
- [15] H. Sánchez, R. Vilanova, O. Arrieta, "Implementación de controladores PID: Equivalencia y Optimalidad," *XXXV Jornadas de Automática, España*, pp. 1-6, Sep. 2014



**Edwin Pruna** Es ingeniero en Electrónica e Instrumentación de la Escuela Politécnica del Ejército (2007), obtuvo el grado de Magister en Gestión de Energías en el año 2013. Las áreas de investigación son diseño e implementación de prototipos para la enseñanza en ingeniería y la rehabilitación virtual motora.



**Ivón Escobar** Es Ingeniera en Electrónica e Instrumentación de la Escuela Politécnica del Ejército (2008), obtuvo el grado de Magister en Gestión de Energías en el año 2013. Las áreas de investigación son diseño e implementación de prototipos para la enseñanza en ingeniería y la rehabilitación virtual motora.



**Calvopiña P.** Nació en Latacunga; Ecuador en 1992. Recibió su título de Ingeniera en Electrónica e Instrumentación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga en 2015.



**Estefanía Serna.** Es ingeniera en Electrónica e Instrumentación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.



**Marco Pilatásig Panchi.** Nació en Latacunga, Ecuador en 1980. Recibió su título de Ingeniero Electrónico e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército ESPE Extensión Latacunga en 2005; de Master en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013. Desempeña las funciones de Docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.



**Washington Freire** nació en Ambato provincia de Tungurahua en Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica Nacional en el año 2001, cuenta con una especialidad en Redes Digitales Industriales en la Escuela Politécnica del Ejército. Desempeña sus actividades en el Departamento de Eléctrica y Electrónica como profesor a tiempo completo en el área de Sistemas Eléctricos