Automatización del apilador radial de caliza de "LAFARGE CEMENTOS ECUADOR" a través de un controlador lógico programable

Ricardo Urrutia, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito – Ecuador

Resumen- **El presente proyecto se encarga de automatizar el control electromecánico de la Apiladora Radial de Caliza de la empresa Lafarge Cementos, ubicada en la ciudad de Otavalo, para ello se realiza una detallada descripción del proceso de elaboración del cemento. El diseño de ingeniería, incluye la correcta elección de la instrumentación y señales de control para que la maquinaria trabaje de manera autónoma y eficiente, entre los que se destaca un sensor de nivel tipo radar, inductivos, variadores de velocidad y una báscula para cinta transportadora, sin dejar de lado los circuitos eléctricos y el diseño del tablero de principal. El control se lo realiza por medio del PLC 315 – 2DP y Touch Panel TP 177 – B ambos de la familia de Siemens y utilizados para soluciones de ingeniería de mediano a alto nivel, para la programación se usa de los softwares de automatización STEP 7 y WinCC Flexible para lo cual se crea un proyecto desde el Administrador Simatic y a manera de tutorial se indica paso a paso el manejo de todos los softwares mínimos y necesarios para la configuración, programación y simulación del PLC y HMI.**

I. INTRODUCCIÓN

Los apiladores son maquinarias que tienen por objeto almacenar las materias primas, esto se ocupa en procesos en los que el ingreso de materias primas no es regular, pero se necesita de un stock para la producción continúa de la fábrica, bajo este concepto, pensar en optimizar o automatizar este tipo de maquinarias, parecería no generar valor a la empresa, ya que lo importante es solo tener stock, sin importar como se lo hace, sin embargo, este pensamiento es erróneo. Automatizar los procesos es una tendencia de toda industria, y todos conocemos las ventajas de hacerlo, pero una automatización sin optimización del proceso, es realizar la mitad del trabajo, el verdadero enfoque que debe tener toda industria es optimizar su proceso con la ayuda de la automatización. Ahora el lector se puede preguntar ¿qué se puede ganar al optimizar un apilador? Las ventajas son innumerables, pero lo que a todo empresario le interesa, es hacer más con menos o hacer más con lo mismo, de esta manera los ingenieros no solo deben concentrarse en la automatización de los equipos, sino en optimizarlos y darle el plus que todo empresario espera, es decir, hacer más con menos; en ese aspecto esa expectativa es superada, ya que se mejora el tiempo de descarga de la materia prima para su almacenamiento, en un valor mayor al 30% con respecto al sistema de control antiguo, eso permite durante una jornada de trabajo finalizar con un stock 30% más grande o a su vez terminar la jornada de trabajo rediciendo el 30% del tiempo empleado anteriormente para dicha actividad.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La comprensión del proceso de elaboración de cemento permite familiarizarse con este tipo de fábrica y ubicar de manera clara donde se desarrolla en presente proyecto; además el detalle de los componentes que intervienen en el apilador radial de caliza y la instrumentación necesaria para su funcionamiento permite comprender el proceso de automatización.

A. Proceso de Fabricación de Cemento

El proceso de fabricación de Cemento está conformado por los siguientes subprocesos [1]:

- Almacenamiento y Homogenización de la Materia Primas, previos a la elaboración del Crudo.
- Molino de Crudo, se encarga de moler la Caliza, Arcilla, Oxido de Hierro y Sílice en un molino vertical hasta reducirlas a polvo, mismo que es absorbido por ventiladores exhaustores y llevados hacia el Filtro para su recuperación.
- Filtro Electrostático [2], tiene la finalidad de retener y recuperar la mayor cantidad de polvo proveniente de la molienda de Crudo.
- Transporte, almacenamiento y Homogenización de Crudo.

- Dosificación de Crudo al Precalentador.
- Precalentador, se encarga de calentar el crudo desde los 250°C hasta los 1000°C por medio del intercambio de calor en 4 ciclones de gases calientes provenientes del horno con el polvo de crudo.
- La Calcinación del crudo se la realiza en un horno rotativo que recibe el material a los1000°C y lo eleva hasta los 1400°C donde el polvo se transforma en líquido y al baja su temperatura se solidifica formando piedras incandescentes denominadas Clinker, a este proceso también se lo conoce como Clinkerización.
- Enfriadora, proceso en el cual se enfría el Clinker bruscamente hasta los 130°C, por medio de ventiladores de aire, con esto termina su etapa de clinkerizado.
- Pretrituración de Clinker, para obtener un material más fino previo a la molienda de cemento.
- Alimentación de materias primas para la elaboración del producto final.
- Molienda del Clinker, Puzolana y Yeso en un molino de bolas hasta reducirse a polvo, es a lo que conocemos como cemento, y para este caso en especial por tener puzolana se denomina Cemento Puzolánico.
- Transporte del Cemento a los Silos para su almacenamiento y homogenización.
- Envasado y Despacho del Cemento.

B. Apilador de Caliza

Dentro proceso de elaboración de Cemento se encuentra el Subproceso de Almacenamiento y Homogenización de Piedra Caliza "Fig 1," componente más importante dentro de la elaboración del cemento, debido a que es el de mayor proporción en la mezcla, por tanto, mantener un buen stock de material es primordial para la producción continúa de la fábrica y adicional la homogenización de la misma permite mantener una mezcla uniforme en el subproceso siguiente acompañado de estabilidad y regularidad en el mismo.

Fig. 1. Apilador Radial de Caliza

Aquí es donde se desarrolla el presente proyecto que tiene por objeto el Almacenamiento y Homogenización de Piedra Caliza, este subproceso empieza desde una tolva de recepción de material donde las volquetas depositan la roca, en el extremo inferior de esta tolva se encuentra una mesa con un pequeño movimiento, la misma que se encuentra acoplada por medio de resortes a un motor que posee en sus ejes discos des balanceados con la finalidad de dar movimiento vibratorio a la mesa y provocar la caída del material hacia la primera cinta transportadora cuyo largo es de 74 metros, la cual lleva la piedra hasta el apilador de caliza, el mismo que consta de una banda inclinada de aproximadamente 50 metros de longitud, esta cinta transportadora se situada sobre una estructura metálica diseñada de tal forma que le permite tener dos movimientos o grados de libertad a la banda, el primero

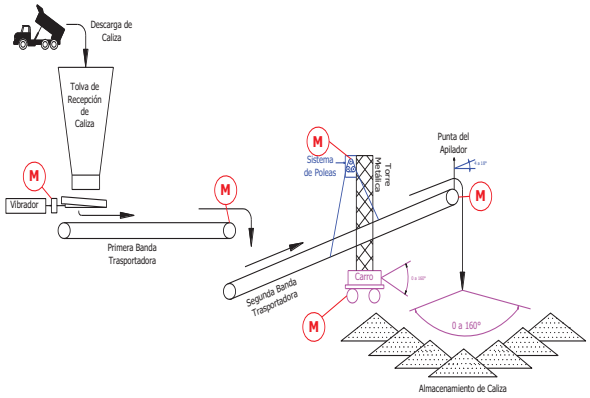

Fig. 2. Esquema del Proceso de Almacenamiento de Piedra Caliza.

es el cambio de su inclinación de 4 a 18 grados por medio de un sistema de poleas que ayudadas por un motor permiten tal movimiento, mientras el segundo es el cambio de su posición radial de 0 a 160 grados dirigido por un sistema de tracción comandado por un motor eléctrico dando la apariencia de una especie de carro, de

esta manera se puede apilar y homogenizar el material en 7 montañas diferentes de alrededor de los 15 metros de altura cada una "Fig 2," debajo de cada montaña se encuentran 7 tolvas con sus respectivos vibradores cada una, con el mismo principio de funcionamiento que la primera tolva de recepción de la piedra caliza, estos vibradores permiten la extracción del material de cada pila hacia una cinta transportadora pero este proceso de recuperación de caliza no interviene en el proyecto, sin embargo, puede haber la necesidad para un futuro que se requiera automatizar estás maquinarias, por lo tanto, el sistema a implementar debe tener la posibilidad de ampliación.

C. Instrumentación del Apilador

El sistema electromecánico del apilador de caliza posee una serie de sensores discretos que sirven para la automatización del sistema, entre los que se destacan: sensores fines de carrera para el movimiento del carro apilador y el elevador, swichs de manos (hand switch) utilizados como paros de emergencia de las cintas transportadoras, switchs de alinemiento para detectar desalineamiento de las bandas transportadoras y switchs de velocidad (speed switch) para monitorear movimiento de la cintas, sin embargo, estos elementos no son suficientes como para poder optimizar el proceso, por esta razón se ve la necesidad de agregar nuevos dispositivos electrónicos, con las siguientes justificaciones:

- PLC 315 – 2DP, controlador lógico programable que tiene la función de controlar todos los equipos por medio de rutinas programadas por el diseñador en base a los requerimientos del proceso.
- Touch Panel 177B color, panel táctil que tiene la función se ser la interfaz hombre – máquina para el control de la maquinaria por el operador.
- Sensor de Nivel Radar, con la finalidad de medir la altura de cada pila, no sobrellenar la montaña y amontonar el material lo mas pegado a la pila.
- Variador de Velocidad para el Vibrador de la tolva, con la finalidad de controlar la cantidad de material que se alimenta a la cinta transportadora.
- Báscula para cinta transportadora, que contiene celdas de pesaje, medidor de velocidad de cinta y un controlador electrónico que tiene la función de integrar ambos sensores para medir el flujo de material que pasa por la banda, con la finalidad de optimizar el sistema haciendo que el vibrador regule la cantidad de material que va hacia la banda.
- Variador de Velocidad para el Carro Apilador, con la finalidad de manipular la velocidad de movimiento del apilador en base al homogenizado que requiera la materia prima.
- Encoders, sensores inductivos que hacen la función de un Encoder que por medio de conteo en el PLC permite posicionar la altura del elevador del apilador y la posición radial del carro en el stock de Caliza.

III. DISEÑO DE HARDWARE

La implementación del hardware, evalúa los circuitos de control, señales para la automatización, la integración de los variadores e instrumentos hacia el PLC, el dimensionamiento del PLC junto con sus módulos de entrada y salidas, la integración del HMI hacia el PLC y finalmente el diseño del tablero en el que se centraliza todas las variables a manejar.

A. Control de Motores

El control de motores incluye, las variables a controlar, medir o monitorear, la selección de equipos, diseño del circuito de control y fuerza, esquemas unifilares de cableado, conexión y control de los circuitos; entre los motores tenemos:

- Vibrador de Caliza.
- Bandas Transportadoras.
- Apilador Radial, movimiento de inclinación y posición radial.

B. Sistema de Paro de Emergencia y Alarma Sonora.

El sistema de parada de emergencia y el sistema de alarma preventiva están dedicadas a prevenir accidentes, estas deben cumplir con los estándares internos de la planta, como son: para el caso del paro de emergencia detener súbitamente toda la maquinaria tanto vía software por medio del PLC, como físicamente des energizando el circuito de control del motor y para el caso de la alarma preventiva, siempre que se vaya a encender alguna maquinaria, debe sonar por unos instantes una alarma sonora.

C. Controlador Lógico Programable e Interfaz Hombre Máquina.

El Controlador Lógico Programable es el "cerebro" del proyecto, mientras que la interfaz hombre máquina es el medio por el cual el controlador da visibilidad y manejo a la persona que opera los equipos. En el primero se encuentra toda lo lógica de funcionamiento y secuencia de las maquinarías desde el vibrador de caliza hasta el

apilador radial, mientras que en el segundo se encuentra toda la visualización y alarmas que genere el sistema cuando esta o no en operación.

D. Diseño del Tablero de Control.

El diseño del tablero de control "Fig 3," debe ser de acuerdo a las necesidades de planta para que mantenga la fiabilidad de los equipos y organice todos los elementos que van a intervenir para el control de la maquinaria, para ello es necesario realizar una adecuada distribución interna de los elementos, con las medidas reales de cada equipo, desde las borneras que utilizará cada circuito hasta las dimensiones del PLC, canaletas, relés, entre otros, de esta manera se tendrá una referencia del alto y ancho que se necesita para el tablero, de igual manera el analizar las características que debe tener el tablero previo a su instalación dará un idea del grado de protección que necesita el mismo y de la profundidad del tablero.

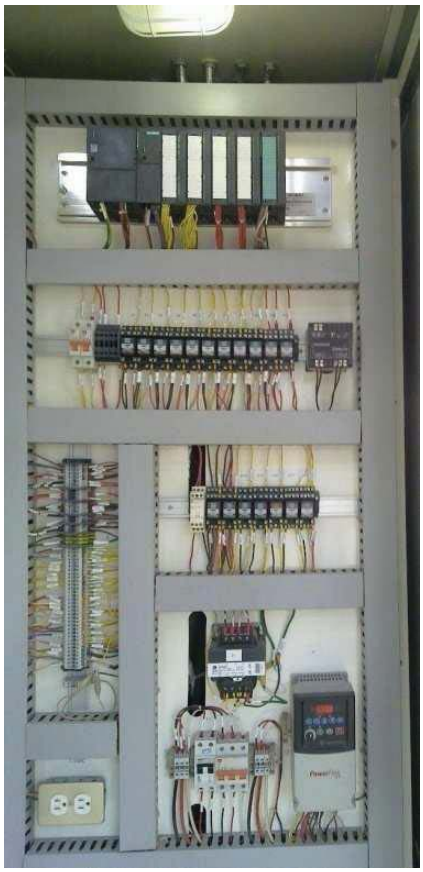

Fig. 3. Conexionado Interno Tablero de Control

E. Diagrama de Proceso e Instrumentación PID.

El Diagrama PI&D es el último esquema para esclarecer la ubicación y pertenencia de todos los componentes que van a ser parte del presente trabajo, adicional permite de una manera resumida identificar cada uno de los equipos e instrumentos instalados en la maquinaria.

IV. DISEÑO DE SOFTWARE

El diseño del software consiste en el desarrollo de la programación tanto para el PLC, como para el HMI, en base a la secuencia del proceso, definiendo las diferentes formas de operación del sistema y todas las alarmas importantes que se generen en el proceso. Adicional se trabaja en una programación que permite calibrar la apiladora radial de caliza, indicando cuales son los centros de cada pila y los fines de carrera del carro apilador, de esta manera en caso de moverse alguna referencia es posible ajustarla vía calibración, e incluso si se lleva el programa a una apiladora diferente se puede calibrar el equipo y funcionará como si se hubiese pensado en esa apiladora para desarrollar la programación.

A. Softwares de Automatización SIMATIC

Para el desarrollo de una solución de ingeniería de mediano a alto nivel con equipos Siemens el Administrador Simatic es el programa que nos permite interactuar con los softwares mínimos y necesarios para la configuración y programación del PLC y del HMI, como se detallan a continuación:

- Administrador Simatic [3], permite desarrollar la estructura del proyecto, en base a la jerarquía de control que se vaya a implementar.
- Configurador de Hardware [4], permite parametrizar todos los equipos que intervengan en el proyecto, como el PLC, módulos de entradas y salidas y el Panel Táctil.
- Configuración de la Red desde el Net Pro [4], da los lineamientos de comunicación que se va a manejar en el proyecto
- Editor de Símbolos, permite etiquetar a cada variable del PLC, tanto externa, como interna, con un nombre que facilite la identificación al programador.
- Programación LAD/STL/SFB [5], lenguaje de programación que utiliza el programador para desarrollar las rutinas de control de las maquinarias.
- Simulador S7 PLC SIM [6], software que permite simular el programa del PLC en tiempo real y con toda su periferia externa e incluso interna del controlador.
- Programación del HMI desde WinCC Flexible [7], permite configurar el panel táctil.

- Simulador del HMI con WinCC Flexible Runtime [7], permite simular la operación del panel táctil.
- Automation License Manager [3], es el software que Siemens utiliza para la administración y licenciamiento de softwares.

B. Desarrollo de la Programación del PLC.

El desarrollo del Programa del PLC empieza con la configuración de la estructura del proyecto, seguido de la creación del hardware o equipos que se va a utilizar y los lineamientos de comunicación que se definan para el panel táctil y el PLC. Una vez terminada la configuración se debe utilizar el editor de símbolos para identificar a cada variable que va a utilizar dentro del programa del PLC, finalmente se debe crear las rutinas de programación en base a los lineamientos que el proceso lo requiera, tratando de identificar si hay tareas repetitivas de programación para que se simplifiquen en subrutinas que pueden ser llamas cuando se lo requiera, de esta manera se puede llegar a tener un programa mucho más ordenado, de fácil compresión y confiable.

C. Desarrollo de la Programación del HMI.

Se desarrolla la programación del HMI en WinCC Flexible iniciando por la parametrización del mismo, después de haber realizado de manera completa la creación del proyecto en el Administrador Simatic, para finalizar con el desarrollo de los diferentes menús que requiere el sistema para cumplir con todas las especificaciones de operación y funcionamiento.

Es importante tener dos sugerencias al momento de programar el panel táctil, el primero es el crear una receta que contenga las principales variables del PLC, de tal manera que al momento de cambiar algún parámetro importante se lo realice desde el panel táctil y no haya la necesidad de que un programador realice el cambio; y la segunda sugerencia es considerar que el proceso no puede detenerse en caso de que el panel táctil falle, recordemos que la Caliza es la materia prima principal para la fabricación del cemento y la escases de la misma puede poner en riesgo la continuidad de producción de la planta, considerando que este tipo de industria trabaja las 24 horas del día y los 365 días del año.

D. Softwares adicionales utilizados.

Se tienen dos softwares adicionales e importantes que se utilizan para la parametrización de la instrumentación industrial instalada en el proyecto, como es el caso de Easy Server de Schenck Process [8] para básculas en cinta transportadora y el software Pact Ware de Vega [9] para sensores de nivel, ambos utilizados para la configuración y monitoreo de los mismos.

V. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas y resultados se realizan con los instrumentos en campo, la parametrización de los mismos, las pruebas realizadas a los diferentes modos de operación, las calibraciones de los equipos, incluyendo la calibración de posicionamiento del apilador y los ajustes que se realizó en el sistema para su óptimo funcionamiento.

A. Pruebas de Funcionamiento de la Configuración del PLC y el HMI de Siemens

Las pruebas de funcionamiento y de configuración del PLC y HMI "Fig 4," se las realiza en laboratorio para conocer más a detalle el uso de los instrumentos y para verificar los resultados esperados, por ello el enfoque previo a la familiarización de los equipos es muy importante para posteriormente hacer las pruebas en el lugar de operación junto con todos los componentes instalados.

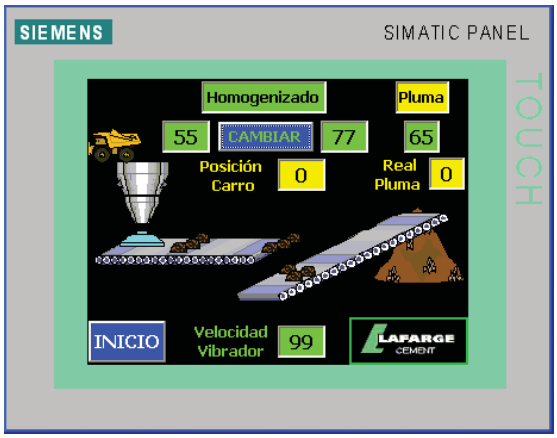

Fig. 4. Pantalla de Operación de Apilado y Homogenizado Automático

B. Pruebas de Secuencias de Arranque y Paro.

Las pruebas de arranque se las realiza una vez probados todos los circuitos de control y comprobado la operación manual del HMI para arranque de cada uno de los equipos, luego identificando los subprocesos se hace las pruebas de secuencia tanto para el sistema de transporte de Piedra Caliza como para el sistema del Apilador Radial.

Las pruebas de secuencias de paro en cambio se las realiza de tres maneras, la primera es un paro normal en secuencia, sin ninguna alarma, la segunda es un paro por

la activación de alguna protección del equipo y finalmente la tercera es un paro de emergencia.

C. Pruebas de la Instrumentación.

Las pruebas de la Instrumentación hace referencia a la báscula que se adquirió para la primera cinta transportadora que tiene la finalidad de optimizar el proceso, ya que por medio de un Lazo PID se regula la velocidad del vibrador que alimenta a la cinta, haciendo que todo el tiempo trabaje al máximo de su capacidad, evitando sobre cargas o apilados de bajo rendimiento.

Otra de las pruebas realizadas, se realizó en el sensor de nivel tipo radar que se instaló en la punta de la pluma del apilador radial, se mide tiempos de respuesta "Fig 5," valores falsos que el software del instrumento genera y la inclinación más óptima para que el sensor de la lectura más real de la altura de cada pila.

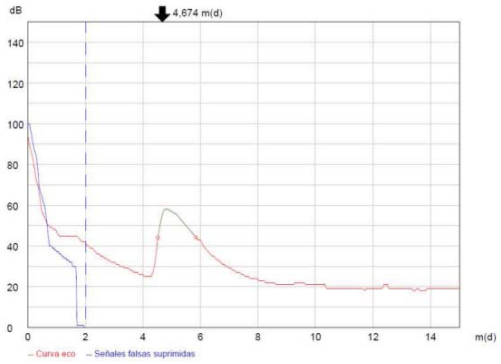

Fig. 5. Curva de Eco del Sensor de Nivel

VI. CONCLUSIONES

Se realiza la modernización del sistema de control de la Apiladora Radial de Caliza de la Planta "Lafarge Cementos Ecuador" migrando su control de un sistema electromecánico a uno automatizado por un Controlador Lógico Programable que utiliza tecnología moderna de Simatic, pieza fundamental para cualquier tipo de automatismo o control con equipos Siemens.

Se comprueba la optimización del sistema al aumentar el ingreso de caliza al Stock, ya que las descargas de las volquetas subieron de 8 a 10 por hora a un valor de 10 – 12 por hora, esto debido a que antes se tenía trabajando al sistema con baja carga para evitar derrames de material en el proceso.

Al cambiar de un sistema electromecánico a uno comandado por un PLC le da cierta autonomía al sistema del apilador para realizar acciones que antes las realizaba el operador, de esta manera le libera de tiempo al operario para continuar con otras funciones asignadas.

La utilización de los diferentes softwares de Simatic para el manejo de proyectos de automatización da una idea bastante clara y completa de los pasos necesarios a seguir para la creación, configuración y desarrollo de la solución de un proyecto de ingeniería de medio a alto nivel en los que intervengan equipos Siemens.

La implementación de un Panel Táctil le da mayor versatilidad al proyecto de automatización y es práctico cuando se desea introducir un valor real al sistema, adicional permite navegar entre pantallas y le da más opciones al usuario para aprovechar de mejor manera las ventajas del sistema instalado, además el uso de los mensajes de alarmas le permite al operario o al especialista responder con mayor rapidez frente a una falla.

El diseño, instalación y montaje de un nuevo tablero de control permite concentrar de manera ordenada todos los instrumentos y circuitos eléctricos en un solo lugar, además que protege a los equipos que intervienen en el sistema de control.

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece al Ingeniero Nelson Sotomayor por la asesoría durante la elaboración del proyecto y la revisión del presente documento.

REFERENCIAS

[1] Grupo Lafarge. (2007.). Cement Computer Instruction Lafarge: CECIL. Lafarge Cement Division, France. CECIL Version 1.1.7.0. [Online]. Disponible: http://webcementportal.lafarge.com

[2] Miliarium. (2001.). Precipitador Electrostático: Tipos de Precipitadores. Miliarium Aureum S.L., Madrid, España. [Online]. Disponible: http://miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/PrecipitadorElectrostatico.htm

[3] Siemens. (2004, Ene.). Simatic: STEP7 Introducción y Ejercicios Prácticos, Getting Started. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6ES7810-4CA07-8DW0.

[4] Siemens. (2004, Ene.). Simatic: Configurar el hardware y la comunicación con STEP7 V 5.3. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6ES7810 – 4CA07 – 8DW0. [Online]. Disponible: http://www.dte.us.es/tec_ind/electric/ap/Descarga/hardwareSTEP7.pdf

[5] Siemens. (2004, Ene.). Simatic: Esquema de Contactos (KOP) para S7 – 300 y S7 – 400. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6ES7810-4CA07-8DW1. [Online]. Disponible: http://www.elai.upm.es:8009/spain/Asignaturas/Automatizacion/archivos/S7-KOP.pdf

[6] Siemens. (2004, Feb.). Simatic: S7 – PLCSIM V 5.3. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany.

[7] Siemens. (2005, Jun.). Simatic HMI: WinCC Flexible 2005 Compact/ Standard/ Advanced. Siemens Aktiengesellschaft, Munich, Germany. Tech Doc. 6AV6691 – 1AB01 – 0AE0. [Online]. Disponible: http://isa.unio vi.es/~vsuarez/Download /WinCCFlexible2005-DescripcionConceptos.pdf

[8] Schenck Process. (2006.). Intecont Plus Báscula de Cinta: Instrucciones de Funcionamiento. Schenck Process GmbH Comp., Deutschland, Germany. Tech. Doc. BV-H 2214ES. [Online]. Disponible: http://www.schenckprocess.com

[9] Vega. (2007, Dic.). Medición de Niveles en Sólidos: VegaPuls 67. Vega Grieshaber KG. Am. Hohenstein, Germany. Tech. Doc. 29023 – ES – 071227. [Online]. Disponible: http://www.vega.com/en/BA_Radar.htm

BIBLIOGRAFÍA

Nelson Ricardo Urrutia, nació en Ibarra - Ecuador el 29 de Julio de 1983. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Salesiano Sánchez y Cifuentes. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en el 2012. Ingresa a trabajar a la Empresa Lafarge Cementos Ecuador desde el 2008 con el cargo de Instrumentista en el Departamento de Mantenimiento y después de 2 años es ascendido al rol de Ingeniero de Automatización en el Departamento de Optimización, puesto que desempeña hasta el momento.

Áreas de interés: Automatización, Control Industrial, Energías Alternativas y Ahorro Energético.
(ricardo.urrutia@lafarge.com, rickynel_u@yahoo.com)

Nelson Sotomayor, nació en Quito-Ecuador el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006 en la Escuela Politécnica Nacional. En septiembre del 2008 como becario del Gobierno de México y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), participó en el IV Curso Internacional de Robótica Aplicada, en el Centro Nacional de Actualización Docente CNAD ubicado en México DF. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente se desempeña como Jefe del departamento de Automatización y Control Industrial.

Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial.
(nelson.sotomayor@epn.edu.ec)