

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DIDÁCTICA PARA EL SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE MATERIA GRANULADA CON INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA ESPE-L.

Singaña Marco, Terán Héctor, Mata Jenny, Molina Ivan.

Ingeniería Mecatrónica. Departamento de Energía y Mecánica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

Quijano y Ordóñez S/N y Hermanas Páez, Latacunga, Ecuador.

Email: masingania@espe.edu.ec, heteran@espe.edu.ec, jensu@hotmail.com, wilivmo@yahoo.com

Resumen — El presente proyecto muestra el diseño y construcción de una estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada en recipientes de dos tamaños, se emplea un PLC de marca Xinje como elemento central del proceso, también se utiliza un microcontrolador AVR que cumple la función de integrar la señal de cada uno de los sensores y actuadores, estableciendo tramas de envío y recepción; para finalmente ser llevada esta trama hasta el PLC mediante módulos de comunicación inalámbrica XBEE. A través de un HMI desarrollada en un Touch Panel se controla variables como peso de material requerido, velocidad de transporte; y monitorear el nivel de producto en la tolva y posiciones específicas del recipiente en su trayectoria. Los resultados obtenidos permiten concluir que esta estación posee características superiores en relación costo-beneficio con respecto a estaciones didácticas similares disponibles en el mercado.

Palabras claves — Comunicaciones, interfaz gráfica, microcontrolador AVR, PLC Xinje .

Abstract— This work presents the designing and construction of a didactic station for the supply and transport of granular matter in recipients of two sizes, the Xinje PLC that is used as central element of the process, also AVR microcontroller which has the function of integrate signals of a sensors and actuators, setting sending and receiving frames; finally, this data is taken to the PLC by means of XBEE communication modules. Through a HMI developed in a Touch Panel are controlled variables as weight of required material, speed of transport; and monitored the product level in the hopper and specific positions of the recipient in their trajectory. The obtained results allow to conclude that this station possesses better characteristics related to the cost-benefit relationship of the similar didactics stations that can be found in the market.

Keywords — Communications, graphic interface, AVR microcontroller, Xinje PLC.

I. INTRODUCCIÓN

EL proceso de dosificación de materia granulada implica establecer proporciones exactas de acuerdo a la aplicación que requiera el usuario; con esta finalidad, se

diseño y construyó una estación en la que están incorporadas modernas técnicas y tecnologías relacionadas con automatización de procesos industriales y redes de comunicación; en un proyecto dirigido a la difusión de conocimientos en el campo de la Ingeniería Mecatrónica.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Es importante dar a conocer algunos de los conceptos y criterios sobre los que está fundamentado el proyecto, éstos son:

MATERIA GRANULADA

La materia granulada es aquella que está formada por un conjunto de partículas macroscópicas sólidas lo suficientemente grandes para que la única fuerza de interacción entre ellas sea la de fricción. En la Figura 1 se muestra algunos ejemplos de materia granulada que pueden ser:

- Alimentos (granos, cereales, frutas,...).
- Productos farmacéuticos (píldoras, polvos,...).
- Material de construcción (arena, grava, cemento,...).
- Industrias (minas, procesamiento de plásticos,...).



Figura 1: Ejemplos de materia granulada: píldoras, chocolates, esferas de plástico, grava, lentejas y semillas de ajonjolí.

DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO: TOLVAS Y SILOS

El almacenamiento de materia granulada se lleva a cabo habitualmente en silos, la utilización de éstos es parte integral del acopio, tanto en la agricultura como en la industria. Existen diferentes tipos de silos, los más usuales son los de torre que son estructuras generalmente cilíndricas y fabricadas en hormigón, planchas de acero o acero corrugado; su carga se realiza por la parte superior y se vacían a través de un orificio en la base o en el lateral.

La forma de la base es un detalle importante a considerarse (Figura 2); las más habituales son las de base plana, en cuyo caso se llama silo, las paredes laterales mantienen una separación constante en toda la vertical; y las tolvas, que a partir de una cierta altura las paredes del silo se estrechan con un cierto ángulo hasta conformar el orificio de salida.

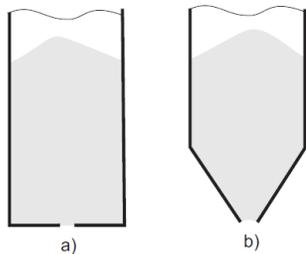


Figura 2: Dispositivos de almacenamiento: silo (a) y tolva (b).

En el almacenamiento de materia granulada se desea que la salida del material tenga lugar en el mismo orden en el que fue introducido (lo cual es especialmente importante para materiales perecederos). Por tanto el flujo de material en el interior del silo es importante (Figura 3).

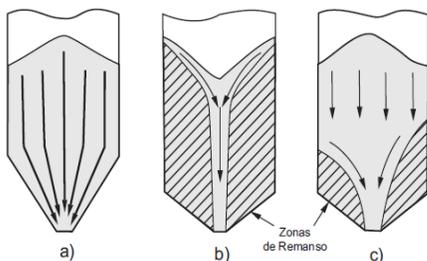


Figura 3: Formas de flujo en el interior de una tolva. a) Flujo másico, b) Flujo interno y c) Flujo mixto.

Tomando en cuenta estas consideraciones el flujo puede ser:

- **Flujo másico:** Las posiciones relativas de las partículas permanecen constante durante la descarga, todo el material cae sin que queden zonas de remanso.
- **Flujo interno:** El flujo de material en el interior del silo es en forma de embudo, se dan algunas zonas de estancamiento cerca de las paredes, el medio se mueve muy poco o nada.

- **Flujo mixto:** Es un caso intermedio entre los flujos anteriores, cuya parte superior del silo el flujo es másico para transformarse en un flujo interno cerca del orificio de salida.

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Trata de cualquier sistema electromecánico que entrega determinada porción o separa en cantidades exactas un material o producto ya sea sólido, líquido o acuoso. La función del dosificador es fraccionar de forma precisa y autónoma el producto a envasar.

TIPOS DE DOSIFICADORES:

Son diversos los tipos de dosificadores así como su aplicación, como las que se indican a continuación:

a. DOSIFICADORES VOLUMÉTRICOS

- a.1. Dosificador volumétrico por vasos telescópicos
- a.2. Dosificador por tornillos sinfín
- a.3. Dosificador por cinta
- a.4. Dosificador por vibración
- a.5. Dosificador por válvulas rotativas

b. DOSIFICADORES GRAVIMÉTRICOS

- b.1. Dosificación por pérdida de peso
- b.2. Dosificación por ganancia de peso

COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

En la comunicación inalámbrica no es necesario disponer de cables para transmitir la información, sino que ésta se transmite mediante ondas, que se propagan a través de un medio. La principal ventaja es que permite una facilidad de emplazamiento, reubicación y rápida instalación.

PROTOCOLO INALÁMBRICO ZIGBEE

Es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica por ondas de radio, es el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones para redes Wireless que requieran comunicaciones seguras y fiables con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite la interacción entre la persona y la máquina. La interfaz de un HMI, puede ser tan simple como una lámpara indicadora del estado de un aparato, hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión, incluyendo valores reales de las variables presentes en ese momento en la planta.

III. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

Tras cumplir con una adecuada investigación de la teoría, se procede con el diseño y construcción de cada uno de los sistemas requeridos para el proceso, la apariencia final de la estación de suministro y transporte de materia granulada, es mostrada en la Figura 4:

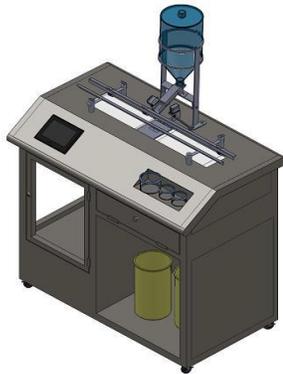


Figura 4: Módulo didáctico diseñado en SolidWorks.

La estación de suministro y transporte cuenta con la característica de ser desmontable desde su estructura base, adoptando la apariencia de la Figura 5:



Figura 5: Sistema mecánico desmontado de su estructura base.

Las etapas que cumple la estación de suministro y transporte se detalla a continuación:

Abastecimiento: El depósito o tolva es alimentada de materia granulada de forma manual por el usuario, cuenta con un sensor alojado en la parte superior de la tapa para conocer el nivel de producto que se encuentra disponible en la misma.

Suministro: Proporciona una medida apropiada de producto en los frascos, es capaz de dosificar granos de diversos tamaños y en diferentes porciones de acuerdo a la necesidad del usuario.

Transporte: En esta etapa se utiliza una banda transportadora encargada en desplazar los envases inicialmente vacíos hacia el sistema de suministro y hasta el final de la banda.

Comunicación Inalámbrica: La estación didáctica posee una red inalámbrica de sensores y actuadores que transmiten paquetes de datos a través de módulos XBEE.

Controlador: Se dispone de un PLC de marca Xinje siendo éste el elemento central del proceso.

Interfaz Humano-Máquina: Permite la interacción entre el operador y las variables del proceso mediante un entorno gráfico disponible en una pantalla táctil. Con ésta se controla variables como peso de material requerido, velocidad de transporte; así como para monitorear el nivel de producto en la tolva y posiciones específicas del recipiente en su trayectoria.

IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

CRITERIOS DE DISEÑO

Para el diseño de cada una de las partes que conforman el sistema mecánico fue importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La estación es parte de un Laboratorio.
- El material debe tener resistencia a la corrosión y no desprender sustancias nocivas al estar en contacto con los granos.
- Debe ser estable mecánicamente.
- Fácil montaje y desmontaje de sus componentes.

FACTOR DE SEGURIDAD

Para estructuras estáticas con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material se utiliza:

$$F.S. = 2$$

DISEÑO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

COMPONENTES ESTRUCTURALES DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Los componentes estructurales de la banda transportadora diseñados son:

- a. Estructura de soporte
- b. Tambor motriz y de retorno
- c. Correa o cinta
- d. Elementos tensores
- e. Elementos motrices

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Las partes principales de la banda transportadora son mostradas en la Figura 6, detalladas a continuación:

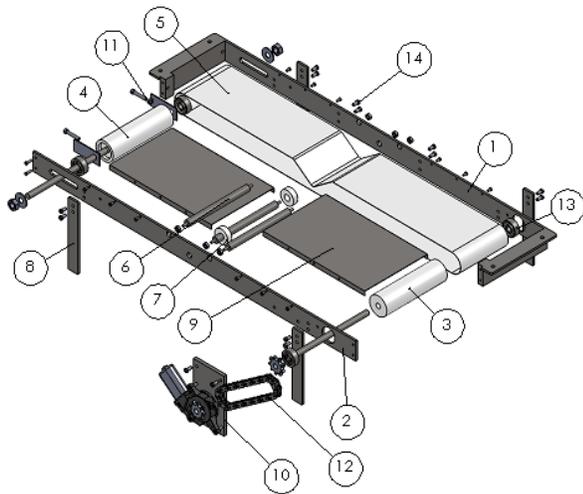


Figura 6: Partes de la Banda transportadora.

- Parte posterior del cuadro (1).
- Parte frontal del cuadro (2).
- Rodillo motriz (3).
- Rodillo de retorno (4).
- Cinta transportadora (5).
- Rodillos medios (6).
- Rodillo guía (7).
- Pie de apoyo de la banda (8).
- Estructura portante (9).
- Base de motor (10).
- Tensor a tornillo (11).
- Cadena eslabonada 520 (12).
- Rodamiento de bola (13).

SELECCIÓN DEL MOTOR PARA LA BANDA TRANSPORTADORA.

Para seleccionar el motor es necesario calcular su potencia, establecida por la siguiente ecuación:

$$P = (P_{pt} * v) / 33000 \quad (1)$$

Dónde:

P_{pt} : es la fuerza periférica en el tambor

v : es la velocidad de la banda transportadora

$$P_{pt} = 8.82 \text{ KN} = 8820 \text{ N} \times 0,224809 \text{ lb/1N} = 1982.82 \text{ lb}$$

$$v = 379.2 \text{ m/h} \times 1 \text{ h} / 60 \text{ min} \times 3.28 \text{ ft/1m} = 20.73 \text{ ft/min}$$

Se debe convertir el esfuerzo en libras y la velocidad de la banda en ft/min para obtener el resultado en HP, de lo cual se tiene:

$$P = (1982.82 \text{ lb} * 20.73 \text{ ft}) / \text{min} 33000$$

$$P = 1.25 \text{ HP}$$

DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Para transmitir la potencia calculada se usa el sistema de transmisión piñón-cadena (Figura 7). La relación entre piñones es de 1 a 1; es decir, que los dos piñones tienen el mismo número de dientes, para el caso de la estación $n=10$.

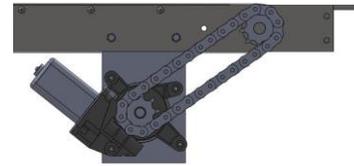


Figura 7: Sistema de transmisión piñón-cadena.

DISEÑO DE LA TOLVA

Para este elemento (Figura 8) se ha designado material acrílico, en la parte superior de este componente se encuentra un sensor ultrasónico el mismo que se encarga de la detección del nivel de producto. Las partes de este elemento son:

- Tapa de sensor ultrasónico (1).
- Sensor ultrasónico (2).
- Tapa tolva (3).
- Cuerpo de la tolva (4).

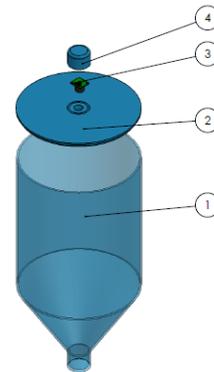


Figura 8: Tolva.

DISEÑO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Para el caso de la estación de transporte y suministro de materia granulada se utiliza una combinación entre el método de dosificación por ganancia de peso y válvulas rotativas tipo compuerta.

DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO

El sistema de suministro (Figura 9) tiene un ángulo de inclinación de 60° . La compuerta es accionada por un servomotor.

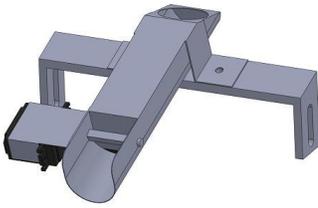


Figura 9: Sistema de suministro sobre su base.

DISEÑO DEL SISTEMA DE PESAJE

Para esto se realiza un mecanismo parecido al de una balanza digital convencional (Figura 10).

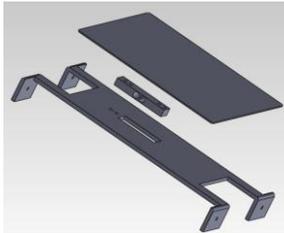


Figura 10: Sistema de pesaje.

DISEÑO DEL SISTEMA DE EMPUJE.

El sistema de empuje (Figura 11) es el encargado de mover los frascos vacíos sobre el sistema de pesaje y debajo del sistema de suministro, una vez abastecidos los frascos actúa nuevamente este sistema para moverlos y continuar su trayecto en la banda transportadora.

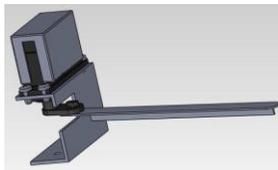


Figura 11: Sistema de empuje.

DISEÑO DE LA MESA DE LA ESTACIÓN DIDÁCTICA

La estructura base de la mesa, servirá de soporte a todos los elementos de la estación didáctica, por lo que debe ser construido de un material resistente y estable mecánicamente en este caso se selecciona acero AISI 1020. Las dimensiones de esta estructura están acorde a la banda transportadora diseñada.

Realizando los estudios necesarios en el software SolidWorks 2011, se encuentra la tensión, el deslizamiento y las deformaciones con un factor de seguridad F.S.= 2.

En el estudio de tensiones de Von Mises que se muestra en la Figura 12 se observa que el esfuerzo máximo que realiza la estructura es de 14.079 MPa.

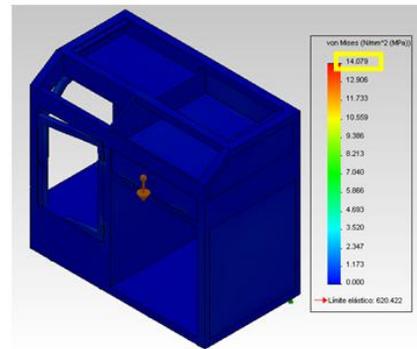


Figura 12: Tensión de Von Mises de la estructura de la mesa.

En la Figura 13 se muestra la deformación que sufre la estructura; la parte roja del elemento muestra donde es mayor la deformación, con un valor de 0,03566 mm; al tratarse de un valor despreciable, no afecta a la estructura cuando se someta a todo el esfuerzo realizado por cada uno de los elementos de la estación didáctica.

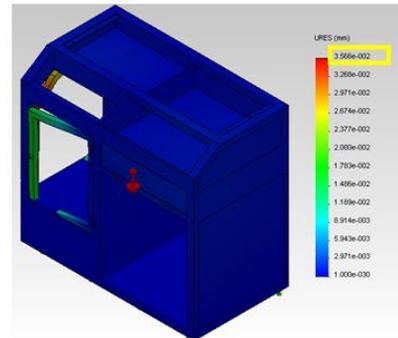


Figura 13: Deformación estática en la estructura de soporte.

CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE

El software X-CTU presenta un entorno de configuración completo y de fácil utilización para configurar las direcciones de los módulos XBEE.

Por tratarse de una configuración punto a punto y evitar errores de comunicación, se asigna los siguientes nombres a las estaciones:

Para la estación local:

DL: FAFA
MY: EFEF

Para la estación móvil:

DL: FAFA
MY: EFEF

IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA.

Mediante el uso del software TouchWin se ha diseñado la interfaz con la finalidad que el usuario pueda interactuar con

la máquina, para esto se ha creado la siguiente pantalla principal expuesta en la Figura 14.



Figura 14: Pantalla principal del HMI

V. RESULTADOS OBTENIDOS

Después de implementar la estación, se analiza de manera estadística el comportamiento del sistema de suministro y transporte de materia granulada, representada en la Tabla 1:

Nº de frascos de la prueba	Tamaño de frasco	Tipo de grano	Frascos correctamente suministrados	Frascos Fallidos	Error
50	Grande	canguil	46	4	8%
50		arroz	47	3	6%
50		fréjol	45	5	10%
150	TOTAL		138	12	8%
50	Pequeño	canguil	44	6	12%
50		arroz	45	5	10%
50		fréjol	41	9	18%
150	TOTAL		130	20	13%
ERROR PROMEDIO					10,5%

Tabla 1: Resultados tabulados para 300 frascos.

El número de recipientes que son puestos a prueba son de 300, de los cuales se obtiene su correspondiente porcentaje de error para cada uno de los granos usados; canguil, arroz, fréjol.

En la Figura 15, se muestra una gráfica equivalente al porcentaje de error para cada grano y en los dos tamaños de frascos usados para el proyecto.

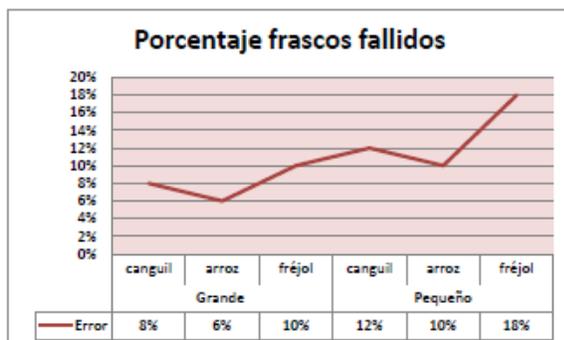


Figura 15: Gráfica de error por grano y tamaño de frasco.

Realizando un promedio del error, se obtiene un valor de 10,5% por lo que se determina una eficiencia del 89,5%. Es decir el 89,5% de frascos cumplen con el peso deseado o

digitado previamente en la pantalla táctil y no presentan desperdicio alguno.

Asumiendo una confiabilidad del 95%, el valor de la estadística de trabajo se encuentra en la zona de no rechazo de la hipótesis nula, por consiguiente, se concluye que al menos el 89,5% de frascos cumplieron con el proceso correctamente por lo que se puede afirmar que la hipótesis planteada es verdadera.

VI. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó una estación didáctica para el suministro y transporte de materia granulada con interfaz humano - máquina y comunicación inalámbrica para el Laboratorio de Mecatrónica de la ESPE-L.
- Mediante la implementación del proyecto se ha logrado crear un sistema que permita suministrar varios tipos de granos en distintas proporciones, obteniendo un proceso moderno, eficiente y automatizado
- Se investigó y seleccionó minuciosamente cada uno de los dispositivos que intervienen en el proyecto facilitando un correcto funcionamiento de la estación didáctica de suministro y transporte de materia granulada.
- Se diseñó un interfaz humano máquina mediante una pantalla de visualización que permite al usuario la interacción con las variables del proceso así como también la visualización de los datos medidos.
- La comunicación entre el PLC y el dispositivo XBEE se consiguió apoyados en una profunda investigación acerca de la comunicación serial en formato libre incorporada en las librerías del PLC y configurando iguales velocidades de transmisión entre los dispositivos.
- Se configuró los dispositivos XBEE en modo punto a punto y se asignó direcciones para que no se enlace la comunicación con otros dispositivos XBEE existentes en el Laboratorio.
- La estación didáctica servirá para la práctica de distintas asignaturas debido a que es una aplicación netamente Mecatrónica al integrar varios sistemas que incluye Instrumentación, Comunicaciones inalámbricas, Control de procesos.

VII. REFERENCIAS

- Jaeger, H. M., Nagel, S. R., & Behringer, R. P. (1996). Materia Granular sólidos, líquidos y gases. Universidad de Chicago, Sociedad Americana de Física, Chicago - Estados Unidos.
- Mankoc, C. P. (2009). Estudio experimental de la descarga de medios granulares en silos sometidos a vibraciones. Memoria para aspirar el

grado de Doctor, Universidad de Navarra, Facultad de Ciencias, Pamplona - España.

- [3] Mayné, J. (2009). Comunicaciones Inalámbricas. En Estado actual de las Comunicaciones por Radio Frecuencia. (pág. 3). Argentina: Ed. Silica.
- [4] Ortega, C., Roque, D., & Úbeda, L. (28 de Julio de 2008). Monografías. Recuperado el 23 de Marzo de 2013, de Zigbee: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/zigbee/zigbee.pdf>



Marco Singaña. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es graduado de la Escuela Politécnica Nacional en Electrónica y Control, cuenta con un Diplomado Superior en Redes Digitales Industriales, un Masterado en Redes y Telecomunicaciones, está cursando un Masterado en Diseño, Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente es docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

Email: masingania@espe.edu.ec



Héctor Terán. Nació en la ciudad de Latacunga, Ecuador. Es Ingeniero Electromecánico, estudios de posgrado en Redes Industriales, Gestión de energías, Seguridad Industrial y riesgos de trabajo, Docente Tiempo parcial en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

E-mail: heteran@espe.edu.ec



Jenny Mata. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es graduada de Ingeniera en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el año 2014. Áreas de Interés: Redes industriales, Automatización de procesos, Diseño de Elementos de Máquinas, Software CAD/CAM.

E-mail: jensu@hotmail.com



Ivan Molina. Nació en Salcedo provincia de Cotopaxi, Ecuador. Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el año 2014. Áreas de Interés: Redes industriales, Automatización de procesos, Diseño de Elementos de Máquinas, Software CAD/CAM.

E-mail: wilivmo@yahoo.com