

Diseño e implementación del sistema de control para pesaje y enfundado de papa picada

Mayra Sarzosa¹; William Armijos¹; Germán Castro¹; Carlos Pavón¹; Nelson Sotomayor¹

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador.
e-mail: sarzosa_ale@hotmail.com; williamarmijos@gmail.com; gcastro@gammaservicios.com.ec;
carlos.pavon.vargas@gmail.com; nsotomayor@hotmail.com

Abstract— In the industrial environment, the automatic dosing of a product takes on paramount importance, because many foods that require baling process to retain its characteristics and properties until being consumed; the object is to deliver a quantity of product within a tolerance range set that meets customer and does not harm the production company; within the time desired time and with minimal waste.

This project is designed and implemented a control system for weighing potato cut into a weighing and hooding machine composed of 12 heads, which have included a dosing algorithm that provides a partial sum of weights, providing the portion target weight; also performs the formation of the sleeve and the end product packaging.

The integral control of the machine was made with a PLC additionally a panel of local control and signaling for the main parameters of the system and all the drive elements and maneuver was placed.

Resumen— En el medio industrial, la dosificación automática de un producto toma trascendental importancia, pues son muchos los alimentos que requieren de un proceso de empaqueo para conservar sus características y propiedades hasta el momento de ser consumidos; el objeto es entregar una cantidad de producto, dentro de un rango de tolerancia establecido, que satisfaga al cliente y no perjudique a la empresa productora; dentro de los plazos de tiempo deseados y con mínimo desperdicio.

En este proyecto se diseña e implementa un sistema de control para el pesaje de papa picada en una máquina pesadora y enfundadora compuesta de 12 cabezales, en la cual se ha incluido un algoritmo de dosificación que provee una sumatoria parcial de pesos, proporcionando la porción de peso de consigna; además realiza la formación de la funda y empaquetado final de producto.

El control integral de la máquina se lo realizó con un PLC, adicionalmente se colocó un panel de control y señalización local para los principales parámetros del sistema, así como todos los elementos de accionamiento y maniobra.

Index Terms—automatización, multicabezal, dosificación

Los autores agradecen el auspicio y la colaboración prestada en el presente proyecto, al ingeniero Christian Aguirre Cárdenas.

M. Sarzosa, es Analista Zonal de Infraestructura en la Subsecretaría de Educación DMQ, en el área eléctrica y electrónica, (sarzosa_ale@hotmail.com).

W. Armijos, es Jefe Eléctrico en ASUNCORP. (williamarmijos@gmail.com)

I. INTRODUCCIÓN

En cuanto al empaqueo vertical se refiere, existen diversos métodos de dosificación, cada uno con sus ventajas y desventajas propias, estos pueden ser congregados en tres grupos: por relaciones (gravedad, tornillo sin fin, banda transportadora, canal vibrante), volumétrico (copas) y por peso (lineal o multicabezal). (ITEPACP INGENIERÍA DE PROCESO Y ENVASADO, 2010), (LITOPLAST, 2010), (PAPER BAGGING TECHNOLOGY, 2010) y (TARNOS SA).

El empaqueo o enfundado de producto, incluye la dosificación de una cantidad concreta de producto en cada funda cuidando en extremo su integridad durante esta etapa, para llegar al consumidor final con una presentación atractiva e higiénica.

La papa picada está lista para ser enfundada luego de atravesar por el proceso indicado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, lo que incrementa su fragilidad y exige mayor precaución en su trato.

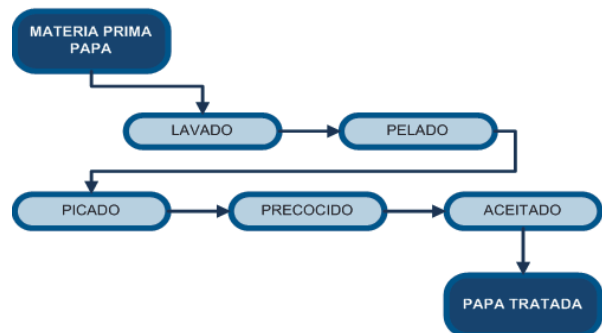


Fig. 1 Proceso del producto a enfundar

II. HARDWARE DE CONTROL

C. Pavon, es Jefe de Instrumentación en DISEK S.A. (carlos.pavon.vargas@gmail.com)

G. Castro, es Gerente Propietario de GAMMA SERVICIOS ELECTRÓNICOS (gcastro@gammaservicios.com.ec).

N. Sotomayor, es Profesor principal T/C adscrito al Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, (nelson.sotomayor@epn.edu.ec).

A. Descripción mecánica de la máquina

En el empaqueo vertical, el producto circula desde la parte superior de la máquina hacia abajo, por tanto, para entender con facilidad su secuencia de operación, la descripción mecánica se realiza siguiendo el mencionado trayecto.

En la Fig se encuentran identificadas cada una de las partes de la máquina.

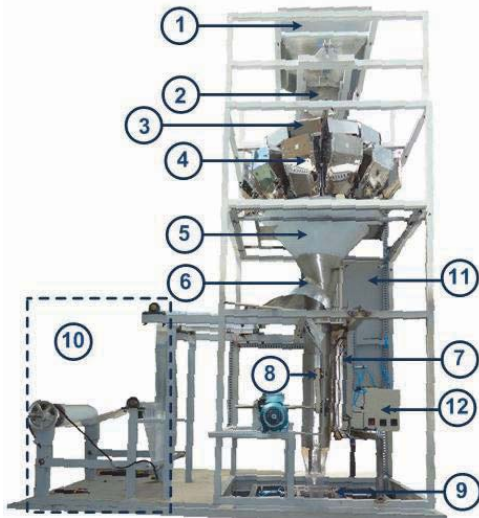


Fig. 2 Partes de la máquina

1) Tolva de alimentación

Recibe el producto que se desea empaquetar y lo distribuye pausadamente sobre la sombrilla distribuidora.

2) Compuertas dosificadoras

Permiten o impiden la salida del producto de la tolva de alimentación, limitando la cantidad que llega a la sombrilla distribuidora.

3) Sombrilla distribuidora

Permite la distribución uniforme del producto hacia todas y cada una de los cabezales de pesaje.

4) Cabezal de pesaje

La máquina dispone de 12 cabezales de pesaje independientes, cada uno de ellos pesa la respectiva porción de producto contenida en su interior.

5) Tolva de recolección

Permite recolectar el producto descargado por uno o varios cabezales de pesaje.

6) Cuello y cilindro formador

El cuello da forma tubular a la lámina de plástico alrededor del cilindro y forma el doblez para el sellado longitudinal posterior.

7) Mordaza de sellado vertical

Sella verticalmente la lámina de plástico que desciende en forma tubular.

8) Bandas de arrastre

Colocadas una a cada lado del cilindro formador, permiten el arrastre de la manga de plástico hasta llegar a la posición de trabajo.

9) Mordazas de corte y sellado horizontal

Realizan el sellado superior de la funda con producto, su corte y el sellado inferior de la funda siguiente.

10) Sistema de guiado y freno de la bobina de plástico

La lámina de plástico debe ser adecuadamente guiada desde la bobina hasta llegar al cuello formador, de modo que no se generen pliegues que puedan dañar la formación de la funda. Así mismo, se dispone de un freno mecánico para detener la bobina inmediatamente después proveer la cantidad de plástico necesaria.

11) Panel de control principal

En el panel de control principal se encuentran todos los botones y accionamientos necesarios para el manejo y control de la máquina, así como también dispone de sus respectivas luces de señalización y fallo.

12) Paneles de control auxiliares

Adicional al panel de control principal, la máquina dispone de 2 paneles auxiliares. El primero de ellos, está ubicado en la parte superior del panel principal, y el segundo se encuentra en la parte inferior; ambos contienen elementos importantes para el funcionamiento de la máquina que no deben ser manipulados internamente.

B. Lazos de control

El circuito eléctrico de control se divide en cuatro lazos: entrada de producto, pesaje, formación de la funda, temperatura.

1) Entrada de producto

En este lazo se requiere accionar las compuertas dosificadoras de la tolva de alimentación en forma intermitente, accionando una pareja opuesta de cilindros neumáticos DNC 45x200 de doble efecto, con una electroválvula neumática 5/2 con retorno por muelle, como se indica en la Fig. 1. La acción de control, tanto en este lazo como en los tres siguientes, es ejercida por el PLC Siemens S7 1200 CPU 1214C, AC/DC/RELÉ.

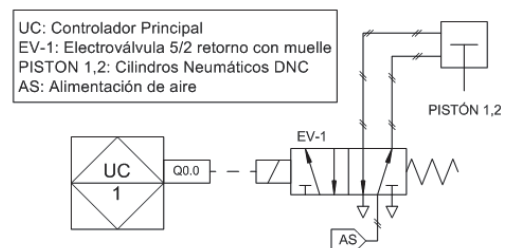


Fig. 1 Lazo 1 - Entrada de producto

2) Pesaje de producto

Este lazo está constituido por 12 cabezales de pesaje, cada uno tiene su respectivo transductor de peso (celda de carga) para adquirir la señal y un convertidor de señal (4-20mA) para acondicionarla al PLC.

La descarga del producto contenido en los cabezales, depende de la apertura y cierre de sus compuertas, acción efectuada por un servomotor acoplado a cada cabezal.

En la Fig. 2 se indica el diagrama P&ID correspondiente a este lazo.

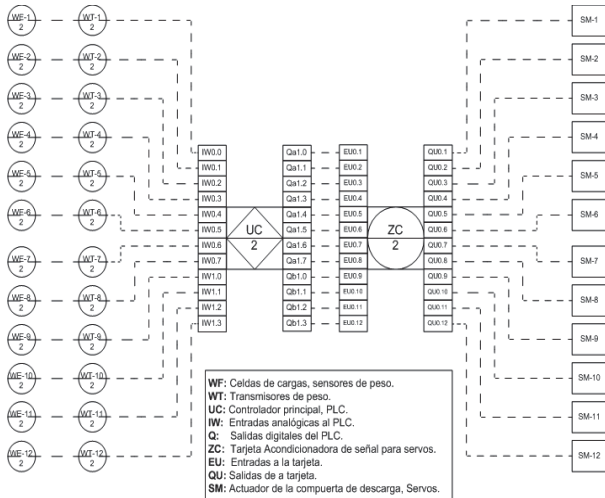


Fig. 2 Lazo 2 - Pesaje de producto

El PLC actúa sobre los servomotores por medio de una tarjeta generadora de señales tipo PWM, diseñada para el proyecto, cuyo funcionamiento se debe al microcontrolador ATxMega 32A4. En la Fig. 3 se pueden apreciar sus partes constitutivas.

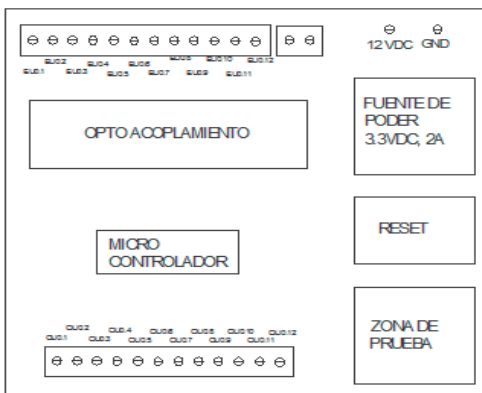


Fig. 3 Tarjeta servos

La fuente de poder provee al microcontrolador de una alimentación de 3.3V, partiendo de una fuente de 12V DC disponible, se emplea el circuito indicado en la Fig. 4, que emplea dos etapas de atenuación de voltaje, la primera con la acción respectiva del regulador TL7805, para obtener un voltaje de 5V DC y posteriormente, con el regulador LM1117T, se obtienen los 3.3V DC requeridos.

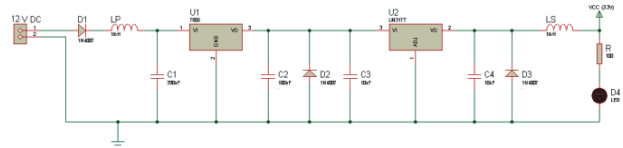


Fig. 4 Circuito para fuente de tarjeta

El optoacoplamiento permite separar los altos niveles de voltaje en la entrada a la placa (24V), de los valores bajos manejados por el microcontrolador (3.3V), evitando posibles daños en sus pines de entrada, se emplea el optotransistor 4N35. En la Fig. 5 se encuentra el circuito empleado para cada una de las 12 señales.

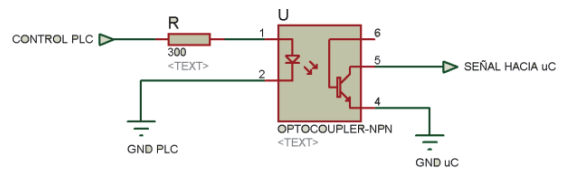


Fig. 5 Circuito para optoacoplamiento

El reset permite solventar posibles problemas de software que requieran de un reinicio del programa, para ello, se emplea el pin 35 del microcontrolador, que se halla predeterminado para ejecutar dicha acción como una interrupción externa especial. En la Fig. 6 se encuentra el circuito implementado para activar la interrupción de reset.

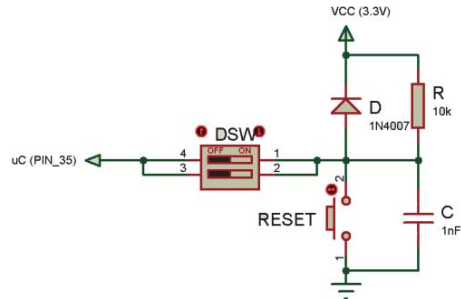


Fig. 6 Circuito para reset

La zona de prueba muestra la normal operación de la lógica del programa del microcontrolador, con una secuencia lumínica proporcionada por un led RGB, dispone también de un par de puntos entre los cuales se debe medir el valor de voltaje con el que está trabajando la tarjeta. Para dicha tarea se utilizan los cuatro pines del pórtilo E del microcontrolador, con el circuito implementado en la Fig. 7.

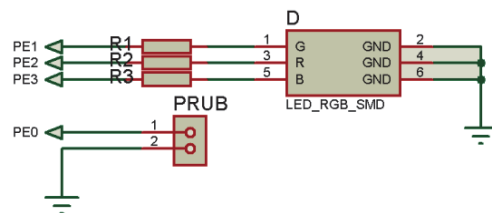


Fig. 7 Circuito para zona de prueba

3) Formación de la funda

En este lazo de control se ejecutan cuatro acciones:

- El arrastre de la lámina de plástico desde su bobina original hasta la formación del empaque final mediante la ayuda de dos Bandas de Arrastre acopladas a engranes que son manejados por el eje de un motor de inducción 3φ de 1/2HP y 1140RPM, este a su vez es comandado por el variador de frecuencia micromater440.
- El sellado longitudinal que forma la manga plástica, y que requiere el desplazamiento horizontal de la Mordaza Vertical con la acción de dos pistones neumáticos DNSU 20x25.
- El sellado horizontal tanto inferior como superior de la funda y el corte, con el movimiento de la Mordaza Horizontal de Sellado que se presiona con la Mordaza Horizontal de Corte (ubicadas frente a frente), está acción es ejecutada por cuatro pistones neumáticos DNSU 16x125.

Las acciones mencionadas se encuentran vinculadas por el sensor de contraste que lee la taca y da la señal al PLC para que este, ejecute el control respectivo sobre cada actuador, como se puede apreciar en la Fig. 8.

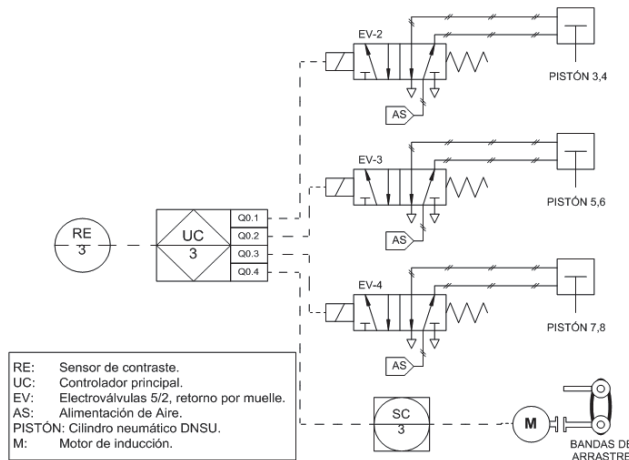


Fig. 8 Lazo 3 - Formación de la funda

4) Temperatura

Permite el control de temperatura en las mordazas de sellado y corte, para que estas, ejecuten la soldadura y con ello la formación definitiva y separación de las fundas plásticas como empaque final del producto individual.

Para llegar a este cometido se implementa el circuito indicado en la Fig. 9, donde se disponen de 3 sub circuitos similares que difieren en el valor de temperatura de consigna, según la tarea a realizar.

Cada uno consta de una termocupla tipo K conectada a un controlador PID de temperatura, este, se conecta a su vez a un relé de estado sólido que abre y cierra el circuito de la resistencia térmica, para mantener el valor de consigna.

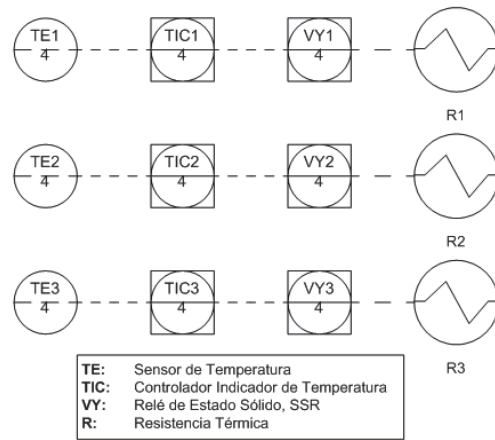


Fig. 9 Lazo 4 - Temperatura

III. DESARROLLO DEL ALGORITMO DE CONTROL

Como controlador del proceso, el PLC comanda y coordina toda la operación de la máquina, sin embargo se han reservado las acciones de calibración importantes y la visualización del proceso a la pantalla HMI.

A. Programa principal, PLC

1) Arranque del sistema:

El operador presiona el interruptor de encendido, y la máquina se ubica por default modo de paro, el PLC realiza la secuencia de inicialización y verificación del sistema. En el caso de aparecer anomalías en los niveles de voltaje AC de alimentación, secuencia de fases, conexión de celdas de carga y/o transmisores; aparecen las respectivas alarmas, que facilitan la detección del problema y su posterior solución.

Cuando el sistema está libre de fallas, el operador puede continuar con las acciones de auto enceramiento y cálculo del factor K para calibración.

Finalmente, el operador selecciona el peso de consigna y puede presionar el botón de inicio para comenzar la operación automática de la máquina.

En resumen esta etapa permite energizar la máquina sin iniciar su operación, proporcionando el espacio destinado para que el operador ingrese los parámetros de trabajo de la jornada, cumple con la secuencia indicada en la Fig. 10.

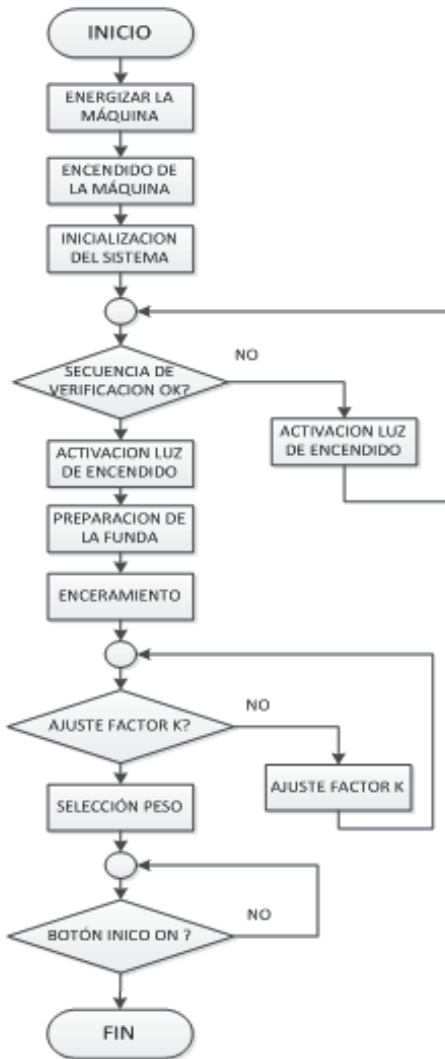


Fig. 10 Arranque del sistema

2) *Algoritmo de operación:*

El proceso inicia con la adquisición de la señal de peso del contenido de cada una de las canastas, tarea efectuada por las celdas de carga locales, estos datos son tomados luego de una espera programada que garantiza la adquisición de datos reales excluyendo picos causados por la inestabilidad inicial propia de la señal, debido a la caída de producto en el cabezal de pesaje, además de la implementación de un filtro digital que actúa según la secuencia indicada en la Fig. 11.

La señal adquirida es acondicionada para ser leída por el PLC, el mismo que procesa los 12 datos, primero uno a uno y posteriormente sumándolos entre ellos hasta alcanzar una combinación de valores que proporcione la cantidad de producto más cercana al valor de consigna, dentro de un rango de tolerancia aceptado por la empresa productora, es decir que existe la posibilidad de que el valor de consigna sea satisfecho con el contenido de una sola canasta, así como con el contenido de las 12 canastas sumadas.

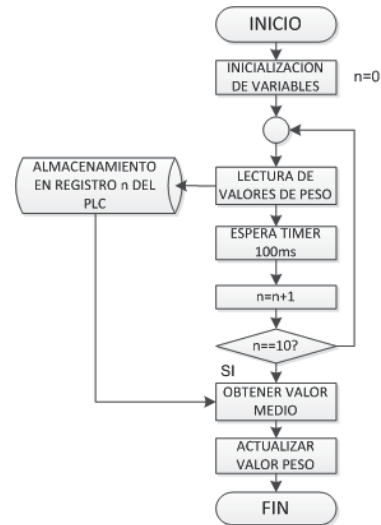


Fig. 11 Filtro digital

La lógica de combinación de las canastas para la sumatoria respectiva no considera repeticiones, entonces, para conocer el número de combinaciones que se pueden realizar con 12 canastas eligiendo r de ellas, de tal forma que no existan elementos repetidos, se emplea la fórmula (1) del coeficiente binomial.

$$\frac{n!}{r!(n-r)!} = \binom{n}{r} = C(n, r) \quad (1)$$

Aplicando la fórmula (1) se obtienen los valores mostrados en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., donde se puede identificar que el algoritmo trabaja con 4095 combinaciones posibles.

TABLA I
COMBINACIONES DE ALGORITMOS

Número cabezales tomados en combinaciones	Número de Combinaciones con un total de 12 cabezales
1	12
2	66
3	220
4	495
5	792
6	924
7	792
8	495
9	220
10	66
11	12
12	1
Total de combinaciones	4095

El desarrollo de esta parte del algoritmo representa la etapa más compleja del proyecto, no sólo se busca hallar la

combinación idónea, sino hacerlo de la forma más eficiente posible. Finalmente, la lógica de combinaciones sigue la secuencia mostrada en el diagrama de flujo de la Fig. 12.

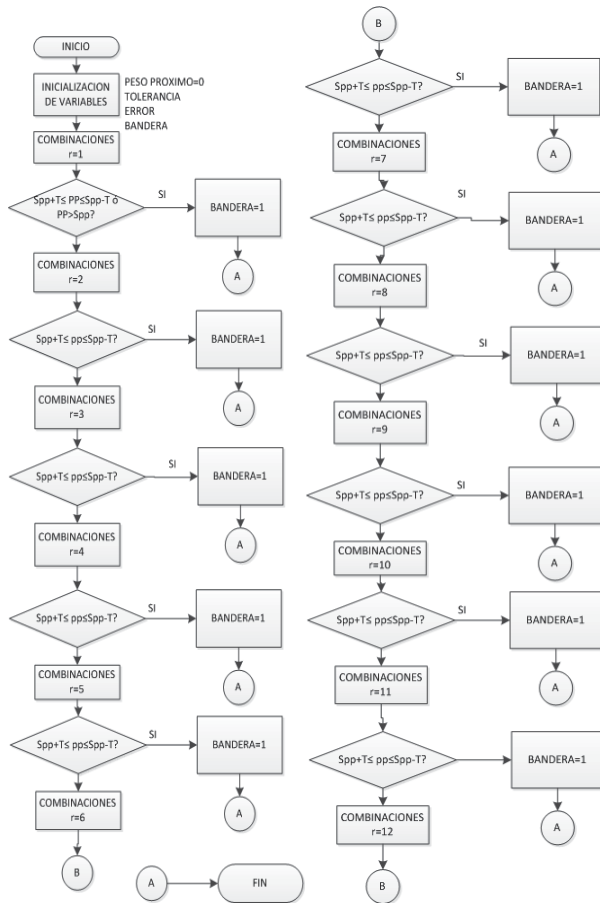


Fig. 12 Lógica de combinaciones

En el caso de que no se consiga ninguna combinación idónea, las compuertas dosificadoras reciben la orden para permitir el paso de una porción adicional de producto desde la tolva de alimentación, hecho esto, se repite la secuencia de búsqueda de una combinación de peso.

Los cabezales que han sido seleccionados por el procedimiento de combinación de peso, reciben la orden de abrir sus respectivas compuertas de descarga durante el tiempo suficiente para evacuar totalmente el producto contenido en ellas.

Las compuertas de descarga se cierran para reiniciar la búsqueda de una nueva combinación, mientras el producto es guiado por efecto de la gravedad hasta su empaque final.

En la Figura 13, puede apreciarse el diagrama de flujo del algoritmo implementado en el presente proyecto.

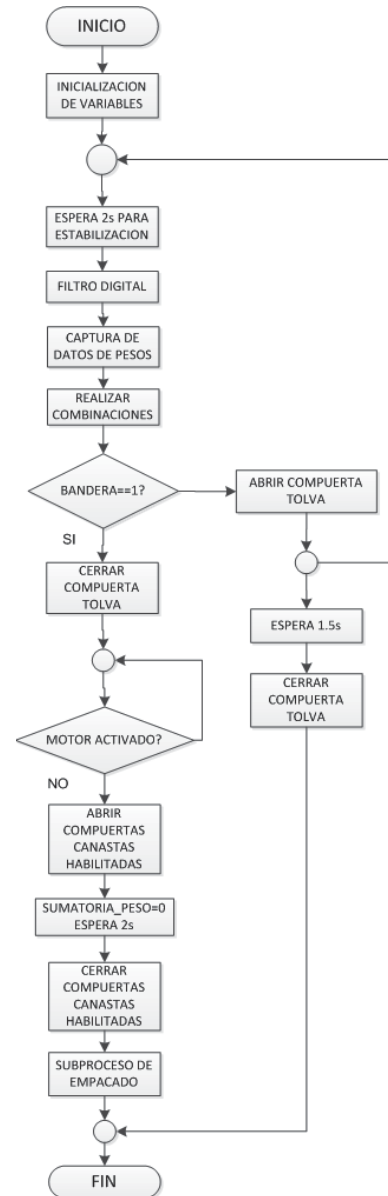


Figura 13 Algoritmo de operación

Resta únicamente, el enfundado de la porción de producto obtenido de las combinaciones, para ello, el algoritmo del PLC sigue la secuencia indicada en la Fig. 14.

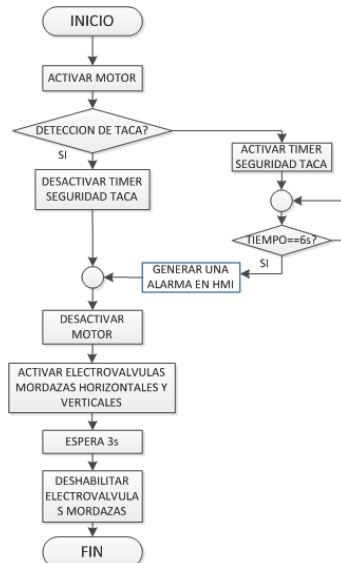


Fig. 14 Enfundado de producto

B. HMI

La pantalla de control de ingreso es esencial en este sistema, donde existen parámetros de configuración y calibración que son críticos para su buen funcionamiento, los cuales están establecidos por defecto, pero pueden ser modificados según los requerimientos, en cualquier instante. Por esta razón, se necesita proteger los datos por medio del acceso restringido a usuarios, con contraseñas. En la Fig. 15 se indica la pantalla inicial o home del HMI.



Fig. 15 Pantalla principal HMI

Se dispone de 6 botones para el acceso directo a un tipo de visualización o calibración como se muestra en la Fig. 15.

TABLA II
ACCESOS DEL HMI

BOTÓN	PANTALLA	USUARIO
F1	PROCESO	Admin/operad
F2	CONFIGURACION	Administrador
F3	VISTA GENERAL	Admin/operad
F4	ESTADOS	Admin/operad
F5	ALARMAS	Admin/operad
F6	CALIBRACIÓN	Administrador

1) Pantalla de proceso:

Muestra al usuario toda la información referente a producción: el peso seleccionado, la tolerancia, peso próximo, error, número de paquetes producidos, cantidad de kilos producidos, cantidad de veces que ha parado la máquina, operador, nivel de acceso, fecha y hora, y señalización de las canastas que están descargando según la combinación realizada como se indica en la Fig. 16.

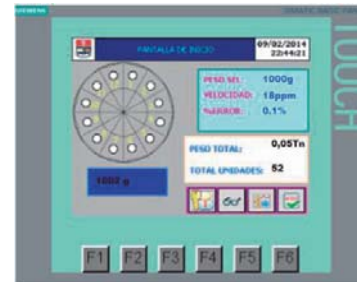


Fig. 16 Pantalla de proceso

2) Pantalla de configuración:

Aquí, el usuario puede ingresar valores para el ajuste de los parámetros críticos del sistema: selección del peso, set point, valor de tolerancia, peso de calibración o de referencia, tiempo de apertura de la compuerta de la tolva y tiempo de sellado. Estos parámetros tienen los valores por defecto mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Fig. 15 y en la Fig. 17 se indica su interfaz.

TABLA III
VALORES POR DEFECTO DEL SISTEMA

PARÁMETRO	VALOR POR DEFECTO
Selección peso	500 g
Valor tolerancia	10%
Peso de calibración	300 g
Tiempo apertura tolva	1.3 s
Tiempo sellado	3 s



Fig. 17 Pantalla de configuración

3) Pantalla de vista general:

El usuario puede supervisar el funcionamiento correcto o de falla de la máquina (apertura de compuertas, motor, mordazas, combinaciones, detección taca), y localizar la parte de la máquina que está dando problemas o error. de colores con el

respectivo significado, que está relacionada a cada elemento de la máquina.

TABLA IV
SIGNIFICADO DE VISUALIZACIÓN DE COLORES

COLOR	REPRESENTACION
VERDE	funcionamiento normal-operando
AMARILLO	desactivado-maquina en paro
ROJO	estado de falla

Se manejan 2 pantallas, una con el proceso de dosificación con indica Fig. 18 y otra el proceso de enfundado como se indica en la Fig. 19.



Fig. 18 Pantalla de visión general dosificado



Fig. 19 Pantalla de visión general enfundado

4) Pantalla de estados:

En esta pantalla se puede visualizar el peso del producto contenido en cada uno de los 12 cabezales, además un indicador de apertura de las compuertas, el error calculado, el valor próximo y la tolerancia usada, como se indica en la Fig. 20.



Fig. 20 Pantalla de estados

También se encuentran los botones de reset para retornar a los parámetros por defecto del sistema, y el botón test de servos para descargar producto residual en los cabezales y comprobar el funcionamiento de los mismos.

5) Pantalla de alarmas:

La pantalla de avisos y alarmas indicada en la Fig. 15, permite registrar la fecha y hora en que ha sucedido una condición de falla, un paro inesperado de la máquina, un paro lógico o condiciones de calibración.



Fig. 21 Pantalla de alarmas

6) Pantalla de calibración:

Solo los usuarios administradores tienen acceso a esta pantalla indicada en la Fig. 22, que habilita un procedimiento para la calibración de las celdas de carga. La interacción está sujeta a dos botones, el botón de visto para aceptar el diálogo y continuar y el botón de flecha izquierda para regresar a la ventana anterior.



Fig. 22 Pantalla de calibración

C. Variador de frecuencia

El variador de velocidad que controla la operación del motor de inducción para las bandas de arrastre de la máquina, requiere ser programado siguiendo la secuencia del diagrama de flujo de la Fig. 23, ingresando los parámetros particulares de trabajo.

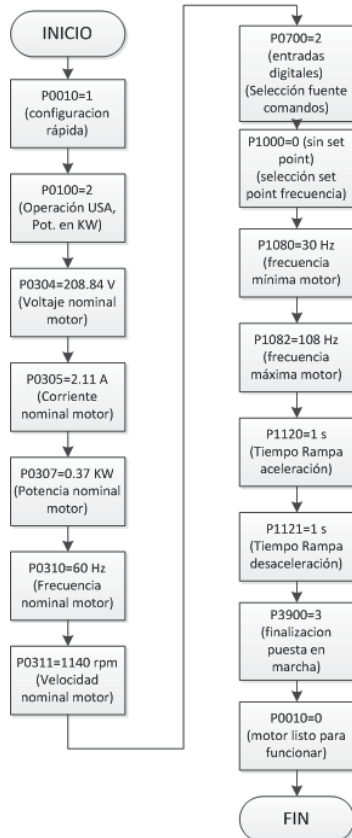


Fig. 23 Variador de frecuencia

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

A. Pruebas mecánicas

Se comprueba la operación mecánica de etapas aisladas de la máquina debidas al software de control.

Se realizan ajustes mecánicos para solucionar los problemas. No se requiere producto para empaçar.

B. Pruebas de calibración

Con la máquina completamente ensamblada, se comprueba la sincronía del algoritmo de control completo, corrigiendo incongruencias de operación.

Se procura reducir al mínimo los tiempos muertos, en busca de mejorar la eficiencia del proceso de dosificación y enfundado.

Es necesario disponer de una cantidad considerable de producto, para realizar las pruebas sin interrupciones.

C. Pruebas de operación

Se realizan pruebas de repetibilidad, cuyos resultados arrojan una dispersión de errores bastante baja con respecto a la media

con una repetibilidad aceptable, como se indica en la Campana de Gauss de la Fig. 24.

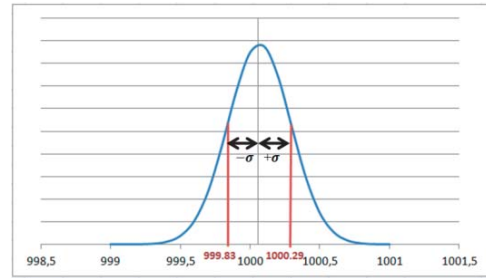


Fig. 24 Prueba de repetibilidad

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

– Al incrementar la velocidad de producción se genera más vibración en la máquina, lo cual perjudica la exactitud de peso, por ello, es prioritario establecer un equilibrio entre velocidad y calidad de medida, que satisfaga a la empresa y no perjudique al cliente final.

– El algoritmo de pesaje está teóricamente diseñado para realizar las combinaciones necesarias para encontrar cualquier peso de consigna, sin embargo, se encuentra limitado por el volumen de cada Cabezal de Pesaje y por el peso de la porción en él contenida, que no debe exceder la capacidad máxima de la celda de carga.

– Para mejorar la eficiencia de operación de la máquina conviene identificar y reducir al mínimo los tiempos muertos o esperas innecesarias, sin embargo, hay variables como la temperatura que por su naturaleza lenta, requiere de un tiempo de estabilización, por lo que la máquina necesita de cierto intervalo de espera para calentar las niquelinas que ha sido reducido a un mínimo de 10 min en el arranque del sistema.

– Los errores están inmersos en todo proceso industrial, el objetivo es minimizarlos, para ello, la calibración debe ser correcta recurriendo a pesos patrones los cuales deben ser certificados por la entidad competente, en este caso el INEN.

– El sistema de control de la máquina multicabezal es en lazo abierto, pues no existe una retroalimentación de la variable peso, para corregir errores se aplican mejoras y ajustes de peso posteriores a la verificación de la cantidad de producto contenido en el empaque terminado. Para realizar un sistema de control en lazo cerrado se deberían implementar balanzas individuales por cada Cabezal de Pesaje, que permitan la autorregulación del peso medido por cada uno de dichos cabezales.

– Cuando se trabaja con máquinas rotativas sobre los 1000 m de altura es necesario realizar la reducción de la potencia desarrollada por el motor como forma de evitar que los devanados de éstos se cortocircuiten debido al recalentamiento por la poca capacidad del aire para disipar el calor, ya que su densidad disminuye a mayor altura.

– Debido a que el producto terminado tiene un peso considerable, igual o superior a los 500 g, la estabilización de las celdas de carga antes de adquirir los valores de la variable no fueron extremadamente prolongados, lo que hace que el peso medido no sobrepase los límites de tolerancia del error en el empaque final, de modo que no fue necesario incluir un sistema de amortiguamiento para reducir la vibración en cada Cabezal de Pesaje.

– Los valores de consigna configurados en los controladores de temperatura para el corte y sellado, son exclusivos para la lámina de plástico especificada en este proyecto, en el caso de que el reemplazo no tenga las mismas características, se deben reajustar dichos valores para impedir que las mordazas quemem y perforen el material o por el contrario que no suelden firmemente las láminas ocasionando derramamientos.

– En el entorno industrial se debe tener extremo cuidado con la utilización de microcontroladores, seleccionando aquel que posea una alto rechazo al ruido e interferencias, adicionalmente requiere de una fuente de alimentación filtrada, protegida y especializada para la estabilización del voltaje de salida en medio de una variación de voltaje en la entrada; y debe ser aislado de la radiación electromagnética del variador e interferencias por radiofrecuencia viajeras en el ambiente, para lo cual, debe ser encerrado en una caja metálica.

B. Recomendaciones

– Para dar mantenimiento y/o trasladar la máquina a otro lugar, es necesario bloquear las celdas de carga con la ayuda de esponjas que suavicen cualquier movimiento indeseado, evitando que se deformen, pierdan linealidad y operen incrementando el error tolerado de la máquina.

– Para mejorar el proceso se recomienda reemplazar las celdas de carga convencionales de unipunto implementadas por galgas extensiométricas con amortiguamiento que no se ven afectadas por la vibración mecánica externa y disponen de tiempos de estabilización mínimos, con lo cual se disminuyen algunos tiempos muertos sin perjudicar la exactitud en la medida.

– Es necesario tener un control más fino y controlado de la entrada de producto desde la Tolva de Alimentación implementando bandejas individuales de vibración a alta frecuencia que guíen y detengan el producto según el requerimiento de cada uno de los Cabezales de Pesaje.

REFERENCIAS

ATMEL. (2012). *XMEGA A Manual*. California: ATMEL Corporation.

ATMEL Corporation. (2011). *Atmel AVR042: AVR Hardware Design*. California: Atmel Corporation.

AUTOMATIC TEST & CONTROL LIMITED. (2013). *Packaging Machinery*. (1&1) Retrieved Septiembre 3, 2013, from <http://www.atc-ltd.co.uk/industrial.html>

BAK THERMOPLASTIC WELDING TECHNOLOGY LTD. (2013). *Máquina de soldadura de plástico con aire caliente*. (Direct Industry) Recuperado el 22 de Septiembre de 2013, de <http://www.directindustry.es/prod/bak-thermoplastic-welding-technology-ltd/maquinas-soldadura-plastico-aire-caliente-73654-865183.html>

BERNER GROUP. (2012). *Productos*. (Berner Group) Recuperado el 2 de Octubre de 2013, de <https://shop.berner.eu/berner/es/productgroup/990067/Todos+los+productos/Accesorios+del+vehiculo/Varios/Expositor+de+proteccion+de+automovil&>

CASTILLO, J. A. (2012). Sensores ópticos para aplicaciones industriales. Parte III. *Industria al día*, 1(60), 54. Recuperado el 03 de Noviembre de 2013, de <http://www.alltronicsperu.com/catalog/manual/es/sensmarcasdm18t.pdf>

DISFRUTA LAS MATEMÁTICAS. (2011). *Combinaciones y permutaciones*. Recuperado el 02 de Enero de 2014, de <http://www.disfrutalasmaticas.com/combinatoria/combinaciones-permutaciones.html>

ECUAPLAST. (5 de Junio de 2012). *Rollos de plástico biodegradable*. (OLX) Recuperado el 29 de Agosto de 2013, de <http://quito.olx.com.ec/fabricams-todo-tipo-de-fundas-plasticas-biodegradables-rollos-y-plastico-stretch-iiid-294734611>

ESPINOZA E., M. (Marzo de 1995). *Diseño y construcción de una celda de carga*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2013, de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020074697.pdf>

- Fitzgerald, A., Kingsley, C., & Umans, S. (2003). *Máquinas Eléctricas*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6534/1/AC-MEC-ESPE-047102.pdf>
- HENKENIUS, H., & THOMPSON, E. (1992). Cómo trabaja un motor eléctrico. *Mecánica Popular*, 45(3), 32.
- HERRMANN GROUP. (2010). *Fundamentos de Ultrasonido Herrmann Group*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2013, de <http://www.unoconvenciones.com/descargas/uh.pdf>
- HILARIO, A., & CARBONELLE, P. (1998). Calibración de equipos de medida según ISO 9000. Madrid: Lluís de la Rosa.
- HITEC RCD USA Inc. (2013). *HS-485HB Deluxe HD Ball Bearing Servo*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2013, de <http://hitecrad.com/products/servos/sport-servos/analog-sport-servos/hs-485hb-deluxe-hd-ball-bearing-servo/product>
- HOPPÉ, J. (2002). Repeatability and reproducibility. Kent: The Royal Society Chemistry.
- ICA Packaging Machines. (2006). *Sistemas de llenado*. (ICA SpA) Recuperado el 7 de Septiembre de 2013, de <http://www.icaspa.it/spagnolo/more007.htm>
- ITEPACP INGENIERÍA DE PROCESO Y ENVASADO. (2010). *Envasadoras Dosificadoras*. (ITEPACP) Recuperado el 30 de Agosto de 2013, de <http://www.itepacp.com/es/maquinaria-de-ensado/ensadoras-dosificadoras/>
- ITEPACP INGENIERÍA DE PROCESO Y ENVASADO. (2010). *Pesadora Siryus4100-4hl-grupo*. (ITEPACP) Recuperado el 01 de Septiembre de 2013, de <http://www.itepacp.com/es/maquinaria-de-ensado/pesadoras-automaticas/pesadora-siryus4100-4hl-grupo/>
- IZA M., M. A. (2012). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2013, de
- LITOPLAST. (2010). *Teoría de Máquinas Empacadoras. Máquinas Empacadoras*. Colombia.
- MADEPLAST. (1 de Agosto de 2013). *Clasificados, ventas*. (Mercado Libre) Recuperado el 29 de Agosto de 2013, de http://servicio.mercadolibre.com.ve/MLV-407685398-manga-plastica-rollo-plasticos-grueso-desde-38-a-160cm-_JM
- MEXIMAQ MAQUINARIA DE EMPAQUE. (2012). *TIPOS DE BOLSA*. (Pro WEB Consultoría) Recuperado el 19 de Septiembre de 2013, de <http://meximac.com/soluciones-de-empaque/por-tipo-de-empaque/tipos-de-bolsa/#1>
- MORENO Z., E. (2012). *Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- MORENO Z., E. (2012). *Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- MOTT, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Person Educación.
- NEW2006POWER. (2006). *N2006P PID TEMPERATURE CONTROLLER*. China: Publicaciones New2006Power.
- OMRON ELECTRONICS, S.A. (2013). *Guía rápida, Relés de Estado Sólido*. Kyoto: Publicaciones Omron.
- PAPER BAGGING TECHNOLOGY. (2010). *Pesadoras y sistemas de dosificación*. (PAPER S.A.) Recuperado el 31 de Agosto de 2013, de <http://payper.com/dosificador-cinta-transportadora-po#ticker>
- PAPER BAGGING TECHNOLOGY. (2010). *Sistemas de dosificación y pesaje*. (PAPER S.A.) Recuperado el 29 de Agosto de 2013, de

- [http://payper.com/dosificaciones-pesaje-
envasado](http://payper.com/dosificaciones-pesaje-
envasado)
- PETROQUIM S.A. (2012). *Grados de polipropileno petroquim.* (GOOSE) Recuperado el 14 de Marzo de 2013, de <http://www.petroquim.cl/grados-de-polipropileno-petroquim/>
- RAJAPACK. (2013). *Bolsas y empaques.* (Rajapack) Recuperado el 2 de Octubre de 2013, de http://www.rajapack.es/bolsas-envases/fundas-proteccion/bolsa-plastico-muebles-rollo-precortado-30-micras_PDT01599.html
- RELEQUICK S.A. (2011). *Relés de Estado Sólido.* Toledo: Publicaciones Relequick.
- RELIANCE ELECTRIC. (2013). *Small & Medium AC Standard Motors.* Estados Unidos: ptplace.
- SICK, Inc. (03 de Marzo de 2011). *KT 3: On your mark.* Recuperado el 04 de Noviembre de 2013, de http://www.tme.eu/es/Document/0670377f5b6ee4cea3837bee428be388/kt_3_scanners.pdf
- SIEMENS . (2014). *6AV6647-0AD11-3AX0SIMATIC HMI KTP600 BASIC COLOR PN.* (SIEMENS AG) Recuperado el 28 de Enero de 2014, de <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=28426427&no deid0=28426379&load=content&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW>
- SIEMENS AG. (2001). *Micromaster 440 Instrucciones de uso.* Alemania: Siemens Aktiengesellschaft.
- TARNOS SA. (s.f.). *Grupos de Dosificación Volumétrica.* Recuperado el 22 de Octubre de 2013, de http://www.tarnos.com/espanol/catalogos/grupos_dosificacion.pdf
- TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. (16 de Julio de 2012). *Polietileno.* (Awesome Inc.) Recuperado el 14 de Marzo de 2013, de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html>
- TIANDING, JUGA NG Machine. (2008). *Máquina empacadora automática de bolsa stand-up.* (TIANDING) Recuperado el 4 de Septiembre de 2013, de <http://foodpackmachines.es/4-1-pouch-packing-machine.html>
- TINFLEX; Investigación y Desarrollo; Departamento Calidad. (26 de Enero de 2011). *Ficha técnica de producto.* Recuperado el 19 de 03 de 2013, de <http://www.tinflex.com/images/upload/Vacuflex%2070.pdf>
- UNIVERSIDAD DE ALICANTE Publicación Interna. (20 de Septiembre de 2007). *Servomotores.* Recuperado el 07 de Noviembre de 2013, de <http://www.aurova.ua.es:8080/proyectos/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf>
- VESCOVO SISTEMAS DE ENVASADO. (2009). *Dosificadores permisibles.* (VESCOVO) Recuperado el 29 de Agosto de 2013, de <http://www.vescovoweb.com/tresCosturas.html>
- VISHAY INTERTECHNOLOGY, Inc. (16 de Febrero de 2009). *Single Point Aluminum Load Cell.* Recuperado el 04 de Noviembre de 2013, de <http://www.farnell.com/datasheets/513807.pdf>
- VISHAY INTERTECHNOLOGY, Inc. (16 de Febrero de 2009). *Single Point Aluminum Load Cell.* Recuperado el 04 de Noviembre de 2013, de <http://www.farnell.com/datasheets/513807.pdf>
- VISITA ECUADOR. (2013). *Carchi.* (Club Visita Ecuador) Recuperado el 12 de 02 de 2013, de <http://www.visitaecuador.com/ve/mostrarRegistro.php?idRegistro=494&informacion=3>
- WALDO PACKAGING MACHINERY. (2011). *Componente de mordaza.* (Makko Solutions) Recuperado el 22 de Septiembre de 2013, de <http://www.waldo.com.mx/control.php?cat=12>

BIOGRAFIAS



Alejandra Sarzosa, nació en Latacunga-Ecuador el 18 de Enero de 1988. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Victoria Vásquez Cuví. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniera en Electrónica y Control en abril del 2014. En agosto del 2014 fue Jefe del Subcentro de Electricidad y Electrónica del SECAP - CMQN. Actualmente desempeña el cargo de Analista Zonal de Infraestructura, en el área Eléctrica y Electrónica en la Subsecretaría de Educación DMQ.



Wiliam Armijos, nació en Machala el 23 de julio de 1984. Obtuvo el título de Tecnólogo en Análisis de Sistemas, Tecnología de la información en el Instituto Tecnológico Superior Latinoamericano en el 2005 y el título de Ingeniero en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional en abril 2014. Se desempeñó como Ingeniero de Proyectos en ROMANSEL y actualmente ocupa el cargo de Jefe Eléctrico en ASUNCORP S.A. en la ciudad de Guayaquil.



Carlos Pavón, Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Don Bosco. Ingeniero en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Se ha desempeñado como ayudante de laboratorio del Departamento de Automatización y Control Industrial y como profesor a contrato en la Escuela de Formación de Tecnólogos, ambos en la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés son la Electrónica de Potencia, Control de Máquinas, y diseño en VHDL para sistemas de control de potencia.



Germán Castro, Ingeniero Eléctrico Mención Potencia de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). Se desempeñó como profesor a tiempo completo adscrito al Departamento de Automatización y Control Industrial de la EPN hasta el 2015. Es Gerente propietario de GAMMA SERVICIOS ELECTRONICOS.



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. Además es miembro de la subcomisión académica permanente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control. Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial.