

Diseño y construcción de un módulo didáctico de un sistema de automatización de llenado y envasado de sólidos, utilizando sensores fotoeléctricos, ultrasónicos, capacitivos, encoders, galgas extensiométricas y brazos robóticos, para el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

Sebastián F. Panchi, Washington P. Herrera

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

sebastiansfpo@gmail.com, washo.herrera@gmail.com

Abstract— En el presente trabajo se muestra la implementación de un módulo didáctico de llenado y envasado de sólidos, automatizado bajo una plataforma de software libre, que permite visualizar un proceso completo de producción similar a procesos de la industria alimenticia, facilitando al usuario el conocimiento y la práctica acerca de este tipo de procesos, con la ventaja e innovación de su desarrollo bajo una plataforma de software libre, la misma que conlleva reducción de costos en su implementación, además consta de controles aplicados para la sincronización y el correcto funcionamiento de las diferentes etapas que componen el módulo didáctico .

Palabras clave— Software libre; automatización; arduino, control.

I. INTRODUCCIÓN

Los automatismos se han observado desde los tiempos antiguos, cuando se creaban toda clase de máquinas provistas de alguna forma de fuente de energía con el fin de imitar los movimientos de los seres vivos; La revolución industrial es considerada como el mayor cambio tecnológico socioeconómico y cultural de la historia, que comenzó en el Reino Unido y se expandió en el resto del mundo [1]. En aquel tiempo la economía basada en el trabajo manual fue sustituida por otra dominada por la industria y la introducción de maquinaria, la historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos constantes de innovaciones tecnológicas con el fin de aumentar la competitividad de la industria por lo que requiere la utilización de nuevas tecnologías [2] .

Desde los inicios de la era industrial hasta la actualidad, la automatización cambio de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta

indispensable para competir en el mercado globalizado, esto se debe a la introducción de la electrónica, y elementos automáticos como PLC's diseñados para controlar procesos secuenciales (una etapa después de la otra) que se ejecutan en un ambiente industrial [3]; Hoy en día la automatización ha permitido incrementar la producción y la calidad de sus productos, reducir los tiempos de producción, realizar tareas complejas, reducir los desperdicios o piezas mal fabricadas y especialmente aumentar la rentabilidad [4].

Los dispositivos que se requieren al realizar el control de una planta son excesivamente costosos debido a su robustez, y principalmente a su software propietario que limita al usuario modificar o redistribuir su código fuente por lo cual requiere licencias que permiten su uso en los equipos implementados en la automatización [5].

Una alternativa a futuro a este problema es la implementación de equipos que se manejen por software libre, es decir un código fuente que tenga la libertad de cambiar y mejorar de acuerdo a las necesidades requeridas por el sistema. La desventaja implementando equipos mediante software libre es su seguridad debido a que puede ser modificado para intenciones maliciosas de terceros perjudicando a la empresa [6].

En este trabajo se implementa un módulo didáctico de llenado y envasado de sólidos, automatizado bajo una plataforma de software libre con fines didácticos y no industriales, que contiene cinco etapas implementadas con tarjetas Arduino para el control de cada uno de los cinco procesos.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El laboratorio no cuenta con módulos didácticos que realicen procesos de automatización debido a su alto

costo para su adquisición, el cual impide el aprendizaje de los estudiantes.

Al implementar el módulo didáctico de llenado y envasado de sólidos automatizado permitirá al estudiante adquirir conocimientos y destrezas sobre este campo, además podrá modificar diversas tareas en las cinco etapas del módulo y esto se debe principalmente a su implementación con equipos bajo una plataforma de software libre que permiten modificar el código fuente, facilitando al estudiante con el módulo didáctico un entorno amigable para su uso.

El módulo didáctico de llenado y envasado de sólidos contiene cinco etapas donde se implementa el control de cada una de ellas y están nombradas de la siguiente manera:

- Dispensador de recipientes (ETAPA 1).
- Dosificador de sólidos (ETAPA 2).
- La envasadora (ETAPA 3).
- Etapa de organización (ETAPA 4).
- Etapa de inspección (ETAPA 5).

Cada una de las etapas está controlada por tarjetas Arduino. La tarjeta Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto basado en hardware y software flexibles y fáciles de usar. Arduino consta de una placa principal de componentes eléctricos, donde se encuentran conectados los controladores principales que gestionan los demás dispositivos y circuitos ensamblados en la misma.

Arduino está constituido en el hardware por un micro controlador principal llamado Atmel AVR de 8 bits programable en lenguaje de alto nivel, encargado de realizar los procesos lógicos y matemáticos dentro de la placa,, además de controlar y gestionar los recursos de cada uno de los componentes externos conectados a la misma (Figura 1).

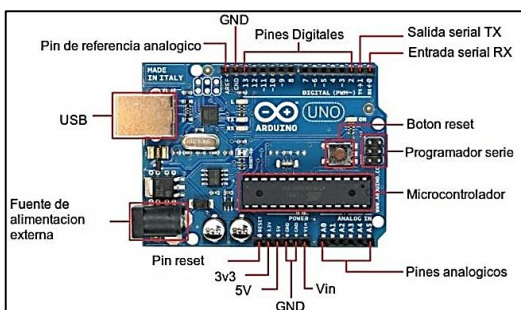


Figura 1: Tarjeta Arduino

La Figura 2 muestra cada una de las etapas del módulo didáctico, además indica el protocolo de comunicación implementada para enviar datos al computador para la visualización en el software Acimut Monitoriza for Arduino que de la misma manera es bajo una plataforma de software libre.

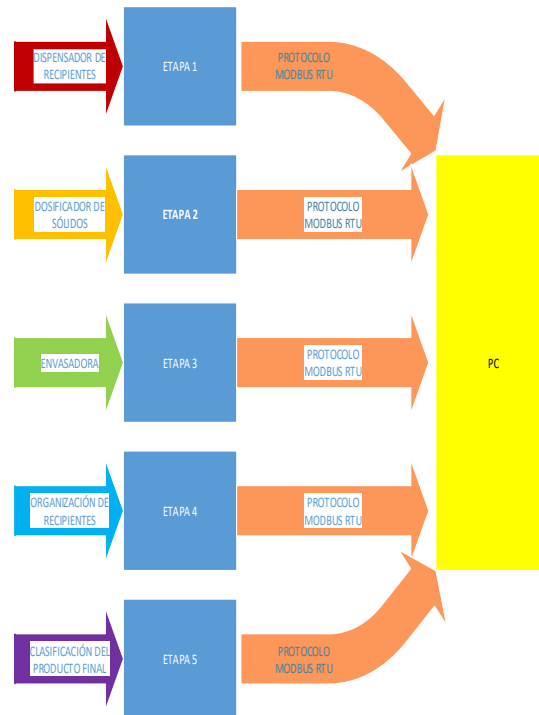


Figura 2: Diagrama de bloques del módulo didáctico

El modulo didáctico automático de llenado y envasado de sólidos implementado (prototipo) se muestra en la Figura 3. Cada una de las piezas se diseñó en el software SOLIDWORKS facilitando de manera rápida su construcción física.

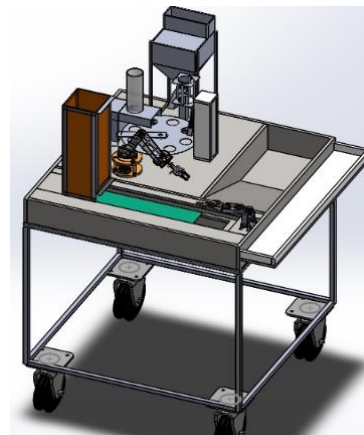


Figura 3: Prototipo del módulo didáctico de llenado y envasado de sólidos.

III. PROCEDIMIENTO

Cada una de las cinco etapas mencionadas anteriormente se describirá a continuación:

A. Dispensador de recipientes o ETAPA 1.

En la Figura 4 se muestra el diagrama de bloques que contiene todos los elementos a implementarse en la ETAPA 1 y realiza los siguientes pasos:

- Dispensa recipientes y distribuye en una mesa giratoria dividida en 8 partes iguales.
- Dispone de un encoder empotrado en el eje central de la mesa giratoria.
- el ajuste inicial de la mesa se realiza mediante un sensor fotoeléctrico el cual proporciona una señal después de haber completado una revolución (360 grados).
- La máquina dispensadora dispone de un sensor capacitivo para verificar la existencia de recipientes en el contenedor caso contrario genera una señal de alerta al usuario deteniendo temporalmente el proceso hasta que el operador adicione recipientes en el contenedor y continuar con el proceso

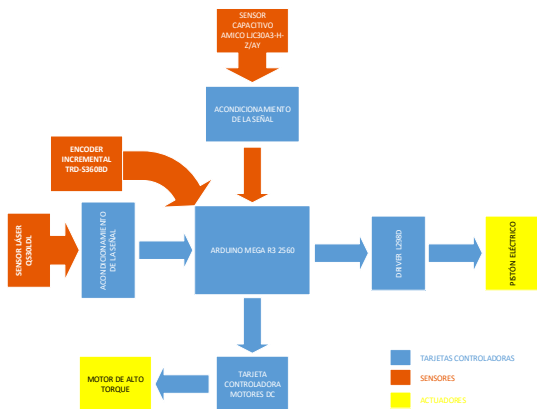


Figura 4: Diagrama de bloques de la Etapa 1

En la Figura 5 se indica el diagrama de flujo de la programación y a su vez implementada en la tarjeta Arduino Mega R3 2560 para el control de los dispositivos externos requeridos en la ETAPA 1.

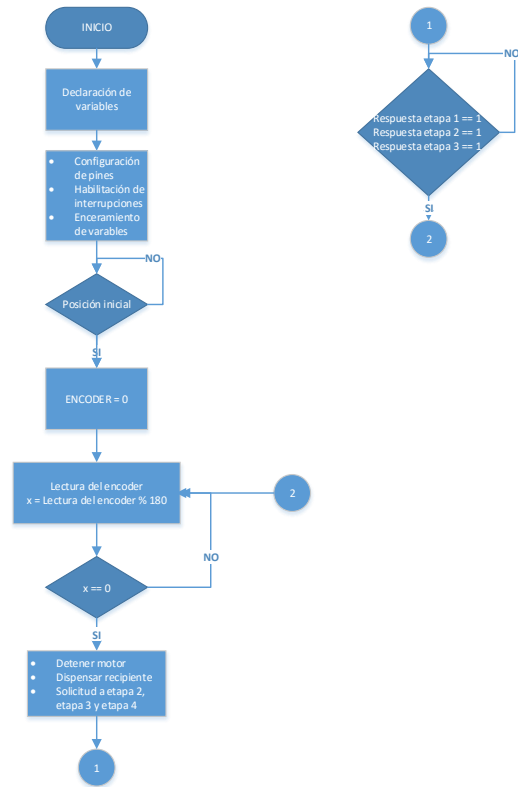


Figura 5: Diagrama de flujo de la tarjeta Arduino Mega R3 2560 de la Etapa 1

B. Dosificador de sólidos o Etapa 2.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de bloques que contiene todos los elementos a implementarse en la ETAPA 2 y realiza los siguientes pasos:

- Dispone de un sensor fotoeléctrico que detecta el recipiente colocado en una de las ranuras de la mesa giratoria.
- Mediante la acción de un motor vibratorio ubicado en un pedestal, dispensa un material sólido en el recipiente (vaso), dicho material es controlado y pesado.
- Adicionalmente dispone de un sensor ultrasónico para verificar el nivel del material contenido en una tolva.

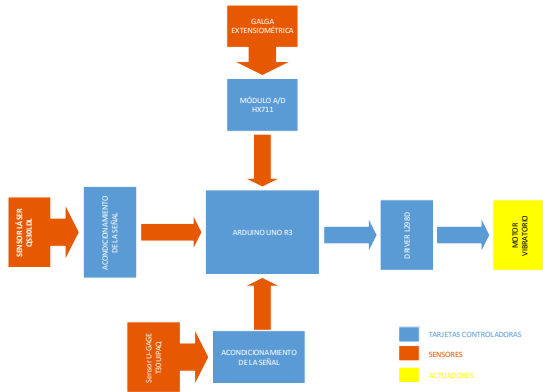


Figura 6: Diagrama de bloques de la Etapa 2

En la Figura 7 se indica el diagrama de flujo de la programación y a su vez implementada en la tarjeta Arduino Uno R3 para el control de los dispositivos externos requeridos en la ETAPA 2.

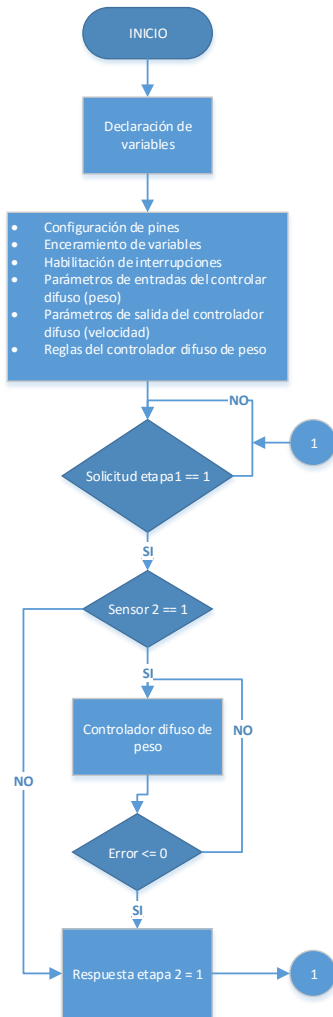


Figura 7: Diagrama de flujo de la tarjeta Arduino Uno R3 de la Etapa 2

C. La envasadora o ETAPA 3.

En la Figura 8 se muestra el diagrama de bloques que contiene todos los elementos a implementarse en la ETAPA 3 y realiza los siguientes pasos:

- incluye un sensor fotoeléctrico que detecta el recipiente a envasar.
- Mediante la acción de un servo-motor, posiciona en un ángulo de 180 grados a un pistón, para extraer la cubierta (tapa) mediante una bomba de vacío en conjunto con una ventosa, posteriormente el servo-motor posiciona el pistón en un ángulo de 0 grados ejecutando una acción de sellado en el recipiente.
- Adicionalmente dispone de un sensor capacitivo que detecta la existencia de cubiertas para envasar los recipientes, caso contrario genera una señal de alerta al usuario deteniendo temporalmente el proceso hasta que el operador adicione cubiertas en el contenedor y continuar con el proceso.

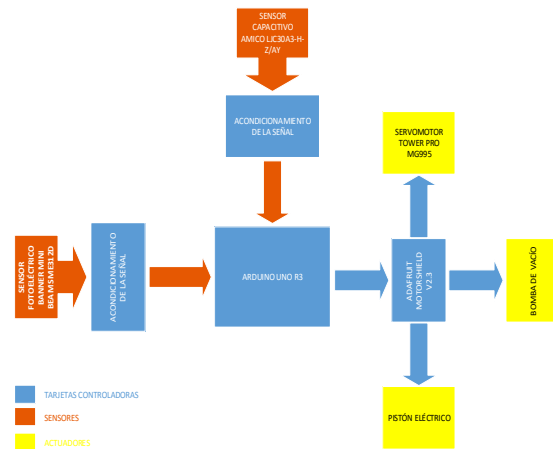


Figura 8: Diagrama de bloques de la Etapa 3

En la Figura 9 se indica el diagrama de flujo de la programación y a su vez implementada en la tarjeta Arduino Uno R3 para el control de los dispositivos externos requeridos en la ETAPA 3.

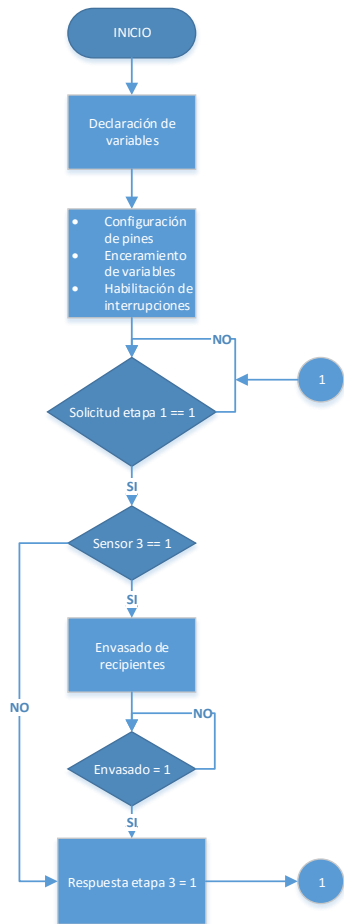


Figura 9: Diagrama de flujo de la tarjeta Arduino Uno R3 de la Etapa 3

D. Etapa de organización o ETAPA 4.

En la Figura 10 se muestra el diagrama de bloques que contiene todos los elementos a implementarse en la ETAPA 4 y realiza los siguientes pasos:

Consta de tres sensores fotoeléctricos:

- Uno de ellos detecta los recipientes envasados para trasportarlos mediante la acción de un brazo robótico (BRAZO 1) colocándolos en una caja con 4 divisiones.
- Se extrae un recipiente (caja) de 4 divisiones desde un contenedor de cajas mediante una banda transportadora y es posicionada en línea al brazo robótico (BRAZO 1) gracias a otro sensor fotoeléctrico.
- Adiciona un sensor fotoeléctrico que detecta la presencia de cajas en el contenedor, caso contrario genera una señal de alerta al usuario deteniendo temporalmente el proceso hasta que el operador

adicione cajas en el contenedor y continuar con el proceso.

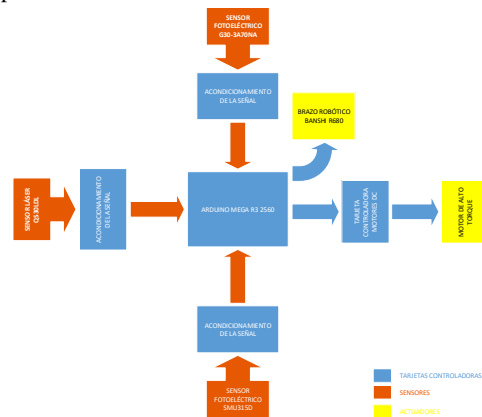


Figura 10: Diagrama de bloques Etapa 4.

En la Figura 11 se indica el diagrama de flujo de la programación y a su vez implementada en la tarjeta Arduino Uno R3 para el control de los dispositivos externos requeridos en la ETAPA 4.

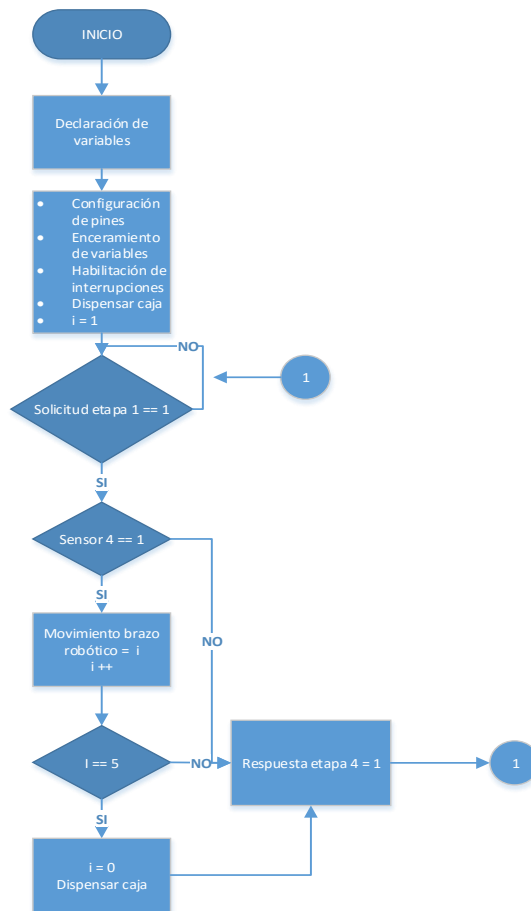


Figura 11: Diagrama de flujo de la tarjeta Arduino Mega R3 2560 de la Etapa 4

E. Etapa de inspección o ETAPA 5.

En la Figura 12 se muestra el diagrama de bloques que contiene todos los elementos a implementarse en la ETAPA 5 y realiza los siguientes pasos:

- Un sensor fotoeléctrico detecta la presencia o ausencia de la caja al final de la banda transportadora
- Posteriormente comprueba el peso en bruto del producto final con una galga extensiométrica y decide si el producto final aprueba o reprueba la inspección.
- A su vez se traslada el producto final con la ayuda de un brazo robótico (BRAZO 2) en su respectiva ruta de transporte, donde el operario tendrá que retirar el producto final o el rechazo.

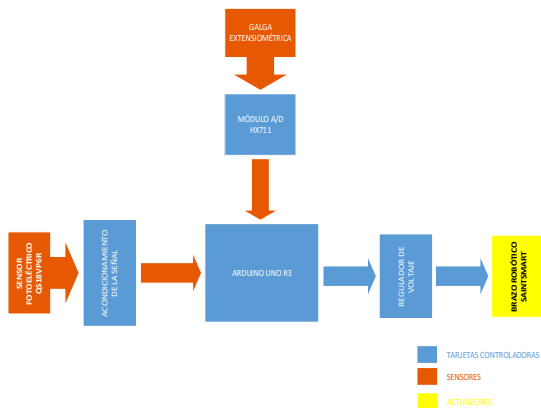


Figura 12: Diagrama de bloques Etapa 5

En la Figura 13 se indica el diagrama de flujo de la programación y a su vez implementada en la tarjeta Arduino Uno R3 para el control de los dispositivos externos requeridos en la ETAPA 3.

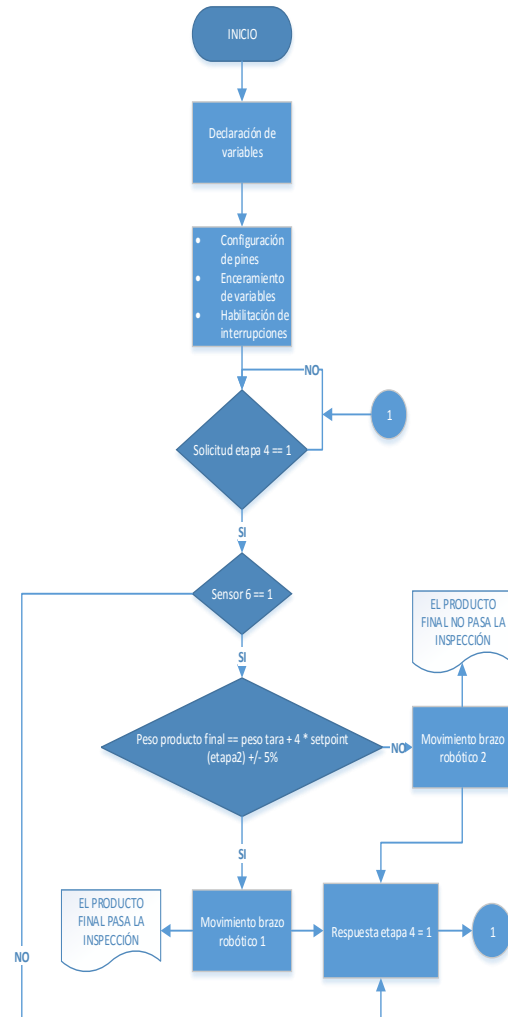


Figura 13: Diagrama de flujo de la tarjeta Arduino Uno R3 de la Etapa 5

Una vez investigado los parámetros y herramientas de programación para la funcionalidad del módulo didáctico se procede a generar un diagrama de flujo resumido de cual parte el diseño del software de dicho módulo, como se indica en la Figura 14.

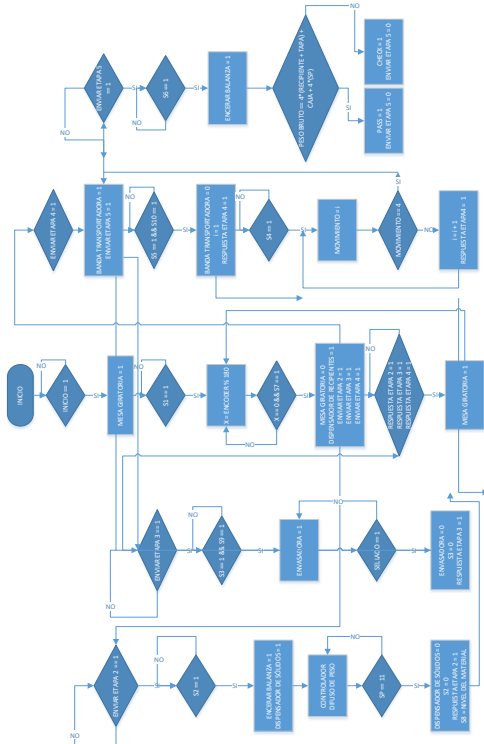


Figura 14: Diagrama de flujo de las cinco etapas del módulo didáctico

F. Diseño del HMI en el software Acimut Monitoriza for Arduino.

Se generan tres formularios en el software Acimut Monitoriza for Arduino, los cuales están designados como: “PRINCIPAL”, “PROCESO” y “TENDENCIAS_FUZZY”.

El formulario denominado PRINCIPAL como se muestra en la Figura 15 contiene botones que permiten navegar entre los formularios PROCESO donde se encuentra diseñado el HMI del módulo didáctico, y el formulario TENDENCIAS donde se visualiza el comportamiento y las gráficas del controlador difuso.



Figura 15: Formulario Principal

El formulario denominado PROCESO como se indica en la Figura 16, contiene las variables asignadas en cada servidor Modbus RTU Arduino con la finalidad de mostrar en tiempo real el comportamiento de cada sensor, actuador y alarmas. Contiene indicadores numéricos como son: Nivel del material de la tolva, el peso neto del recipiente llenado con el material dispensado en la Etapa 2 y el peso en bruto del producto final. Además, simula los movimientos del brazo robótico de la Etapa 4. Finalmente, el HMI contiene un contador para la clasificación del producto final.

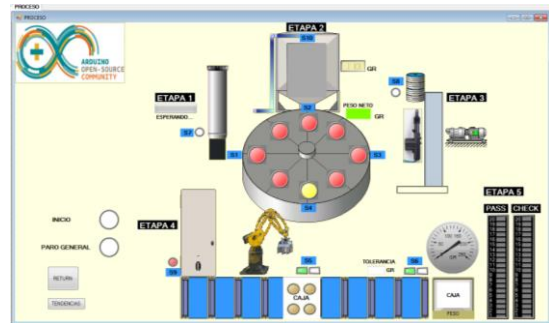


Figura 16: Formulario Proceso

Y finalmente el formulario denominado TENDENCIAS_FUZZY contiene las curvas del Set Point, Control Value y Process Value del controlador difuso implementado en la Etapa Dos (Figura 17), además contiene un teclado numérico que permite cambiar el Set Point del proceso.

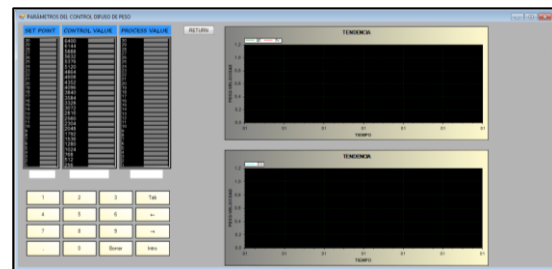


Figura 17: Formulario TENDENCIAS_FUZZY

Unificando todas las etapas y componentes que conforman el módulo didáctico de llenado y envasado de sólidos se muestra en la Figura 18, además la planta está automatizada mediante una programación en la plataforma Arduino, luego de construir la planta y adicionar elementos de control y de medida.

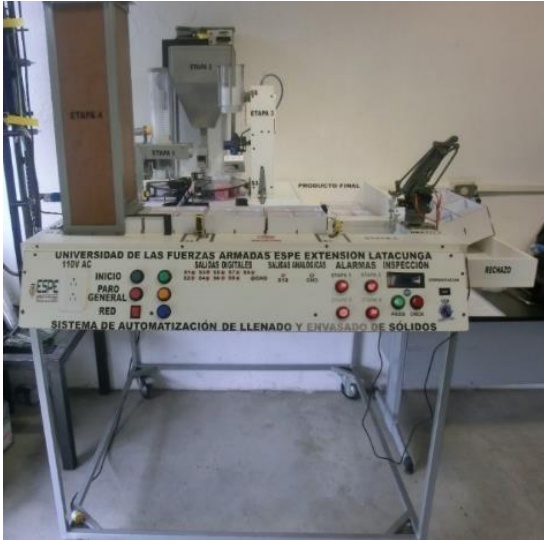


Figura 18: Módulo didáctico de llenado y envasado de sólidos automático

IV. PRUEBAS Y OPERACIÓN DEL SISTEMA

a) *Funcionamiento y ajuste de la mesa giratoria.*

El sensor láser de la Etapa 1 detecta un cejillo ubicado en la mitad de una de las divisiones de la mesa giratoria, enviando una señal digital “FALLING” hacia la tarjeta de control de la ETAPA 1. La velocidad de ajuste del motor empotrado en la mesa giratoria debe ser igual a la velocidad de trabajo el momento que se encuentra iniciado el proceso (Figura 19).



Figura 19: Prueba de posicionamiento de la mesa giratoria

b) *Pruebas de ajuste del sensor capacitivo LJC30A3-H-Z/AY.*

Se ajusta la sensibilidad del sensor mediante un potenciómetro hasta que la luz se apague verificando la distancia con respecto al material se encuentre en los en el rango de los 15mm como se muestra la Figura 20.

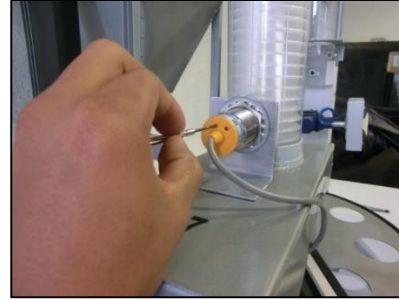


Figura 20: Ajuste del sensor capacitivo de la Etapa 1 con material en el contenedor

Vaciar el recipiente y comprobar que la luz indicadora del sensor se encienda como se indica en la Figura 21 .

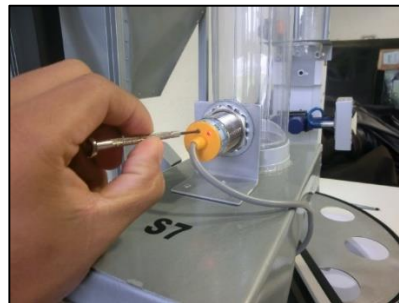


Figura 21: Ajuste del sensor capacitivo sin material en el contenedor

c) *Ajuste del sensor Banner QS30LDL.*

Se ajusta de la siguiente manera:

- Presionar el botón (-) ubicado en el sensor laser durante 2 segundos aproximadamente.
- Verificar que las luces indicadoras 5 y 6 se enciendan de forma alternada.
- Presionar el botón (-) durante un segundo y fijar el primer límite de la ventana.
- Presionar el botón (-) durante un segundo y fijar el segundo límite de la ventana.
- El sensor se dirigirá automáticamente a modo Run y estará ajustado para detectar el material que va a interceptar dicha ventana.

d) *Ajuste del sensor fotoeléctrico Banner SME312D.*

Con respecto al material a detectar se realiza el ajuste de la siguiente manera:

- Presione el botón “TEACH” ubicado en la parte posterior del sensor hasta que el LED verde empiece

a parpadear en rojo (o se apague) y el LED amarillo se mantenga encendido.

- Colocar el objeto frente al sensor y a la distancia establecida por el usuario para poder detectar dicho objeto y presionar el botón “TEACH”. El LED amarillo se apagará.
- Retirar el objeto a detectar y presionar el botón “TEACH”. El LED rojo se tornará verde, aceptando la nueva configuración del sensor.

e) *Ajuste del sensor SMU315D.*

- Se realiza el siguiente procedimiento con respecto al material a detectar:
- El sensor consta de un potenciómetro ubicado en la parte posterior mediante el cual ajusta la sensibilidad de dicho sensor.
- Colocar el objeto frente al sensor y a la distancia establecida por el usuario para poder detectar dicho objeto y verificar que el LED de estado se encienda.
- Retirar el objeto a detectar verificar que el LED de estado se apague.
- Además, consta de un selector ubicado en la parte posterior del sensor para cambiar el tipo de salida del sensor, normalmente cerrado (NC) o normalmente abierto (NO).

f) *Ajuste del sensor QS18VP6R y el sensor QS18SE.*

Estos sensores funcionan de forma simultánea de tal forma que los dos puntos de la ventana del sensor queden en línea de vista como se indica en la Figura 22.

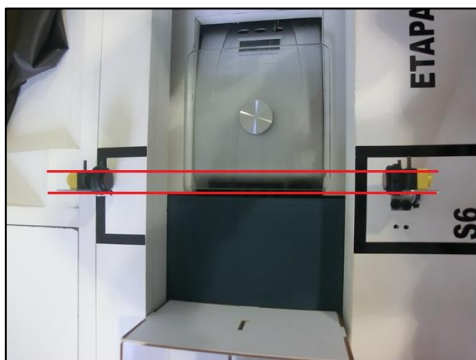


Figura 22: Posicionamiento de los sensores en línea de vista.

g) *Ajuste del sensor fotoeléctrico G30-3A70NA.*

Se ajusta para detectar la presencia o ausencia de cajas en el contenedor, al igual que el sensor capacitivo se varía su sensibilidad mediante un potenciómetro como se puede apreciar en la Figura 22.

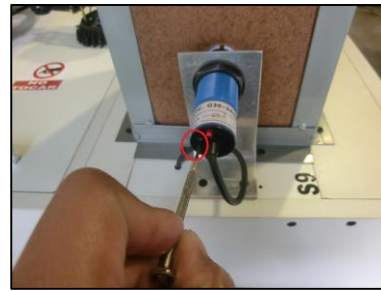


Figura 23: Ajuste del sensor fotoeléctrico G30-3A70NA

h) *Ajuste del sensor ultrasónico U-GAGE U30.*

Se ajusta mediante sus pulsadores de programación analógica y digital y se realiza de la siguiente manera:

- Pulsar sobre el botón de programación de la salida analógica para establecer la primera condición, si no se establece la primera condición el sensor volverá al modo RUN dentro de 120 segundos.
- Pulsar nuevamente sobre el botón de programación de la salida analógica después de establecer el primer límite, el sensor permanecerá en modo PROGRAM hasta que finalice la secuencia TEACH.
- Mantener pulsado el botón de programación por 2 segundos aproximadamente para salir del modo PROGRAM.

i) *Calibración de las balanzas en las Etapas 2 y 5.*

Se realiza la calibración mediante pesos patrones y mediante el módulo HX711 implementado en cada una de las dos balanzas determinando el peso exacto vía software con un número de calibración ingresado en la programación de cada etapa variando los pesos patrones.

La balanza de la Etapa 2 variando los pesos patrones se obtuvo el valor de 2681 para su respectivo enceramiento como se indica en la Figura 24.

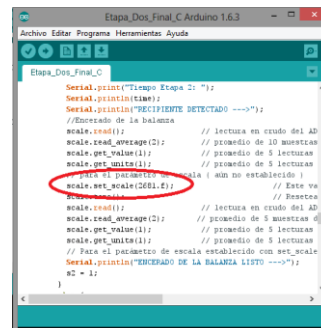


Figura 24: Calibración de la balanza de la ETAPA 2

La balanza de la Etapa 5 variando los pesos patrones se obtuvo el valor de 445 para su respectivo enceramiento como se muestra en la Figura 25.

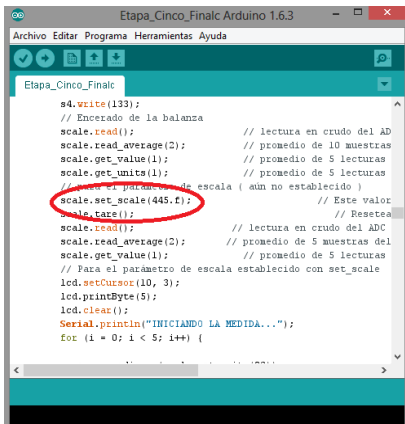


Figura 25: Calibración de la balanza de la ETAPA 5

j) *Prueba de accionamiento de alarmas*

Se realiza el accionamiento de las alarmas vaciando los contenedores de recipientes, cubiertas, cajas y el material contenido en la tolva, observando la activación de las luces pilotos de cada una de las etapas (Figura 26).



Figura 26: Accionamiento de las alarmas del módulo didáctico

k) *Pruebas de funcionamiento de control de peso aplicado en la ETAPA 2.*

Mediante un control difuso se realiza el control de dispensado del material de la tolva para obtener un mínimo de error. El Set Point (SP) establecido es 5, 11 y 18 gramos, medida que debe ser proporcionada por el dispensador de sólidos.

El análisis estadístico del dispensado del material en varios recipientes se realiza de un conjunto de muestras tomadas y comparadas para calcular la media

de lo calculado previamente y el error medido de la ETAPA 2 (Tabla 1).

Tabla 1: Valores medidos y calculados de la Etapa 2

REV. MESA GIRATORIA	RESULTADOS ETAPA 2					
	SET POINT (GRAMOS)					
	VALORES CALCULADOS			VALORES MEDIDOS		
	5 GR	11 GR	18 GR	5 GR	11 GR	18 GR
1°	5	11	18	5,11	11,013	18,261
	5	11	18	5,095	11,129	18,173
	5	11	18	5,16	11,095	18,075
	5	11	18	5,046	11,087	18,04
	5	11	18	5,122	11,058	18,138
	5	11	18	5,233	11,12	18,042
	5	11	18	5,063	11,083	18,048
	5	11	18	5,096	11,125	18,135
2°	5	11	18	5,019	11,046	18,153
	5	11	18	5,129	11,219	18,021
	5	11	18	5,142	11,165	18,092
	5	11	18	5,167	11,022	18,2
	5	11	18	5,023	11,098	18,176
	5	11	18	5,124	11,111	18,09
	5	11	18	5,101	11,019	18,16
	5	11	18	5,009	11,026	18,011
3°	5	11	18	5,096	11,017	18,149
	5	11	18	5,045	11,19	18,065
	5	11	18	5,165	11,034	18,034
	5	11	18	5,159	11,081	18,019
	5	11	18	5,112	11,038	18,07
	5	11	18	5,041	11,134	18,122
	5	11	18	5,178	11,086	18,131
	5	11	18	5,197	11,107	18,196
4°	5	11	18	5,04	11,022	18,205
	5	11	18	5,115	11,137	18,12
	5	11	18	5,098	11,178	18,045
	5	11	18	5,086	11,182	18,023
	5	11	18	5,229	11,04	18,228
	5	11	18	5,147	11,22	18,134
	5	11	18	5,235	11,018	18,078
	5	11	18	5,131	11,025	18,066
MEDIA:	5,000	11,000	18,000	5,116	11,091	18,109
ERROR:	0,000	0,000	0,000	0,116	0,091	0,109

Se realizó un muestreo con un total de 32 muestras (recipientes llenos) los cuales fueron pesados en dicha etapa, generando como resultados una media de error de 0,116 gramos, que representa un +2,32% del punto de ajuste de 5 gramos, una media de error de 0,091 gramos, que representa el +0,82% del punto de ajuste de 11 gramos y una media de error de 0,109 gramos, que representa un +0,60% del punto de ajuste de 18 gramos.

l) *Tendencias del control difuso*

A continuación, mediante una gráfica (diseño del HMI en Acimut Monitoriza for Arduino) se observa el desempeño del dosificador de sólidos al momento de verter el material de la tolva con los tres Set Point anteriormente mencionados, así también las gráficas de la variable de control y la gráfica de la variable del proceso.

En la Figura 27 se indica el desempeño del dispensador de sólidos de forma continua con un Set Point de 5 gramos para tres muestras continuas.

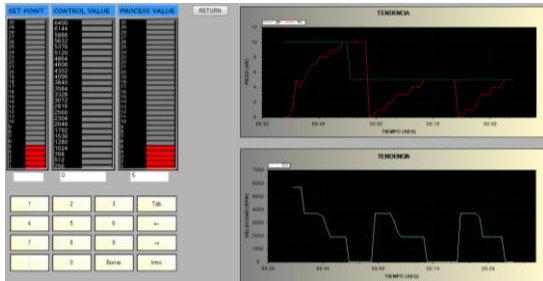


Figura 27: Gráfica de funcionamiento del dispensador de sólidos con un Set Point de 5 gr.

En la Figura 28 se muestra de igual manera el funcionamiento del dispensador de sólidos de forma continua con un Set Point de 11 gramos para tres muestras continuas.

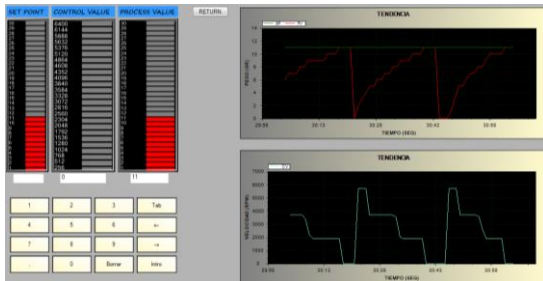


Figura 28: Gráfica de funcionamiento del dispensador de sólidos con un Set Point de 11 gr.

Y finalmente en la Figura 29 se observa el funcionamiento del dispensador de sólidos de forma

continua con un Set Point de 18 gramos para tres muestras continuas.

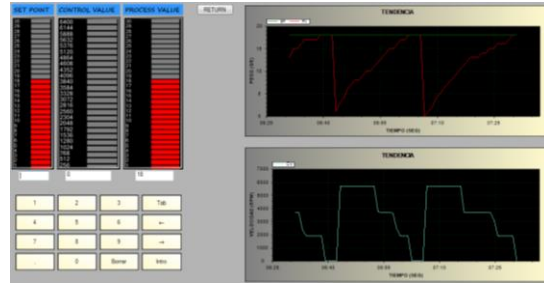


Figura 29: Gráfica de funcionamiento del dispensador de sólidos con un Set Point de 18 gr.

Correspondiente al análisis de las tendencias del control difuso, se puede determinar que para un Set Point de 18 gramos toma más tiempo en llenar el recipiente, pero controla el error resultante con respecto a un Set Point de 5 gramos toma menos tiempo en llenar el recipiente, pero el error incrementa en un pequeño porcentaje de 0,05 gramos que es un valor muy pequeño a nivel didáctico.

m) *Taras o pesos de los recipientes empleados en la etapa de inspección o ETAPA 5.*

Los pesos de los recipientes se muestran en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2: Taras de los recipientes empleados en el producto final

TARAS (PESOS EN GRAMOS)		
RECIPIENTE (Vaso)		4,8
CUBIERTA (Tapa)		1,6
CAJAS	MUESTRA 1	158,38
	MUESTRA 2	158,35
	MUESTRA 3	158,6
	MUESTRA 4	158,33
	MUESTRA 5	157,64
	MUESTRA 6	158,11
	MUESTRA 7	158,36
	MUESTRA 8	157,06
	MUESTRA 9	152,72
	MUESTRA 10	159,39
	MUESTRA 11	155,18
	MUESTRA 12	158,76
PROMEDIO PESO DE CAJAS:		158,298

EL peso promedio de las cajas por unidad es 158,298 gramos, dos muestras (muestra 5 y muestra 9) se eliminan debido a que las cajas son defectuosas porque no tienen un peso aproximado o igual a las otras 10 muestras retirándolas del proceso.

Definido todos los pesos o taras de los elementos del producto final se obtiene la siguiente fórmula ec(1):

$$\text{PESO BRUTO} = 4 * (\text{RECIPIENTE Y TAPA}) + \text{CAJA} + 4 * (\text{SET POINT}) \quad \text{ec (1).}$$

- Peso bruto: Peso total del producto final.
- Peso de recipiente: Peso determinado por el fabricante (4,8 gramos).
- Peso de la tapa: Peso determinado por el fabricante (1,6 gramos).
- Peso de la caja: Peso determinado de acuerdo a un análisis estadístico de 12 cajas o muestras (158,298 gramos).
- Set point: Peso neto del recipiente, establecido en la Etapa 2 (11 gramos) y modificable de acuerdo al operario.

El operario puede definir el porcentaje de error que puede admitir para que el producto final apruebe la inspección. El porcentaje de error fina o tolerancia es definida de acuerdo a los porcentajes anteriormente calculados en la Etapa 2, los cuales son:

- Un error promedio de + 0,2 gramos en el dispensador de sólidos con un factor de seguridad de 0,5 que da un total de 0,3 gramos de error admitido.
- Un error promedio de +/- 1 gramo en la medida del peso de la caja de acuerdo a los valores medidos.

El error promedio de un recipiente lleno es multiplicado por 4 debido a la cantidad de recipientes que contiene la caja lo que incrementa el error total a considerar.

La tolerancia mínima resultante queda establecida en +/- 2,2 gramos del peso en bruto del producto final, el cual puede ser modificado por el operario dependiendo de los elementos manipulados en el proceso.

La Tabla 3 indica una comparativa de los valores medidos del producto final con las muestras anteriores, repartidas en 8 cajas para comprobar si cumplen con la tolerancia establecida.

Tabla 3: Valores medidos del producto final

RESULTADOS ETAPA 5						
Número de cajas	Peso bruto del recipiente lleno			PRODU CTO FINAL SET POINT 5 GR	PRODU CTO FINAL SET POINT 11 GR	PRODU CTO FINAL SET POINT 18 GR
	Set point (Gramos)					
	5	11	18			
1°	11,77	17,42	24,75	204,22	229,06	254,08
	11,52	17,4	24,24			
	10,99	17,44	23,8			
	11,56	17,41	24,23			
2°	11,55	17,39	24,44	204,47	228,12	256,09
	11,33	17,01	24,2			
	11,59	17,38	24,1			
	11,65	17,58	23,96			
3°	11,75	17,51	23,85	204,95	228,12	255,88
	11,59	17,49	24,2			
	11,49	17,32	24,82			
	11,52	17,42	24,25			
4°	11,54	17,44	24,34	204,35	227,74	255,3
	11,28	17,12	24,3			
	11,54	17,35	24,2			
	11,66	17,48	24,08			
5°	11,79	17,47	24,56	203,6	228,4	255,23
	11,54	17,51	24,36			
	11,12	17,39	23,71			
	11,51	17,43	24,25			
6°	11,53	17,37	24,66	204,28	227,72	255,64
	11,41	17,15	23,98			
	11,52	17,37	24,38			
	11,71	17,5	24,02			
7°	11,71	17,44	24,15	204,95	227,5	255,03
	11,68	17,53	24,43			
	11,63	17,54	23,69			
	11,57	17,35	24,43			
8°	11,4	17,31	24,2	203,12	227,84	254,67
	11,48	17,45	24,25			
	11,58	17,51	24,18			
	11,6	17,46	24,4			

V. CONCLUSIONES

- El diseño y construcción del módulo didáctico de un sistema de llenado y envasado de sólidos, permitió verificar el funcionamiento de un proceso industrial a pequeña escala, el cual será de gran ayuda para los estudiantes, incrementando los conocimientos prácticos y reforzando los conocimientos teóricos.
- La operación en paralelo de las etapas del módulo didáctico optimiza los recursos y aumenta la velocidad de producción, ya que estos son los principales parámetros a tomar en consideración en la automatización de un proceso industrial.
- El manejo de tarjetas Arduino en la automatización del proceso de llenado y envasado de sólidos no requiere de licencia alguna ya que está basado en una plataforma libre, pero para implementarlo a nivel industrial se necesita de acondicionamiento de hardware para evitar el mal funcionamiento de los dispositivos.
- Fue necesario acoplar filtros RC pasa bajos en las entradas digitales e interrupciones, para rechazar las frecuencias altas que normalmente se producen por ruidos inductivos de la red eléctrica, cabe recalcar que las tarjetas utilizadas no disponen de ningún sistema de protección frente a la presencia de dichos ruidos.
- El ruido inductivo generado por el accionamiento de relés provocó un mal funcionamiento en las distintas etapas del módulo didáctico, reseteando contadores y generando señales falsas en las entradas digitales de las tarjetas Arduino, por lo que se vio necesario implementar filtros RC paso bajos para eliminar las frecuencias altas generadas por dichos ruidos.
- El uso del protocolo de comunicación ModBus RTU en las tarjetas Arduino permitió recolectar información en tiempo real del proceso en funcionamiento del módulo didáctico, lo que fue de gran ayuda para monitorear el proceso y administrar eventos externos que suscitan, que serán manejados por el operador.
- La velocidad de producción alta, media o baja, está limitada por los actuadores que se encuentran en el proceso de llenado y envasado de sólidos.
- El módulo didáctico de llenado y envasado de sólidos se limita a envasar sólidos como los cereales, debido a la composición densidad y peso de dicho material, lo que conlleva a un óptimo desempeño en la etapa de transporte.
- En la industria se requiere de controles exactos para evitar pérdidas en la producción de materiales líquidos o sólidos, debido a esto se implementó un

control difuso en la etapa de llenado para que la medida sea lo más exacta posible y no exista pérdidas en la producción.

- El uso de dispositivos de medida y el correcto acondicionamiento de los mismos, acorde a las condiciones presentes en el módulo didáctico fue de gran importancia, ya que, de las señales o respuestas a cambios producidas por los mismos, depende el sincronismo de cada etapa en el módulo didáctico.
- El uso de interrupciones generadas por eventos externos en las tarjetas Arduino, facilitó e incrementó la velocidad del proceso obteniendo la independencia de cada etapa en el módulo didáctico.
- El uso de brazos robóticos fue una limitante para utilizar diversos materiales sólidos para el llenado, debido a la inestabilidad de los mismos y falencia de torque en los servomotores que conforman los mismos.
- Gracias a la implementación de los diversos tipos de sensores banner provistos por el laboratorio de redes y control de procesos se obtuvo mejoras y grandes ventajas en el funcionamiento del módulo didáctico.

VI. RECOMENDACIONES

- El implementar tarjetas electrónicas mucho más robustas aumenta la fiabilidad en el proceso, pero conlleva un gasto mayor, por esta razón se recomienda aislar la parte electrónica de la parte de potencia para obtener un rendimiento óptimo.
- El aprovechar la comunicación serie que dispone la tarjeta Arduino para utilizar el protocolo ModBus RTU fue de gran ayuda para la recolección de información, pero se pudo haber utilizado “shields ethernet” para obtener la información del proceso más rápido y poder añadir aplicaciones web para hacer más amigable el entorno con el operador, esto gracias a los diversos complementos que dispone la plataforma Arduino.
- La importancia de la implementación en el módulo didáctico de una etapa de inspección es de gran relevancia, debido a que se asemeja a la parte de comprobación de la mercadería antes de salir a la venta en una empresa, por lo que se clasifican los productos aceptados y rechazados para su expendio.
- El sobredimensionar parámetros como torque en servomotores es de gran importancia para procesos que manejan diversos materiales que van a ser procesados, en este caso el torque de los

servomotores que constituyen los brazos robóticos no generaron el torque suficiente para transportar el producto, lo cual se solucionó sustituyendo dichos servomotores por unos de mayor torque.

- El realizar este tipo de proyectos en software libre abre una gran puerta de ideas a ser implementadas, se recomienda aportar a esta comunidad para que muchas más ideas como está se vean plasmadas a precios módicos y de gran ayuda para los estudiantes acorde al tema.
- Se recomienda implementar y diseñar módulos didácticos de procesos industriales para incrementar los conocimientos de los estudiantes de la carrera Ing. Electrónica e Instrumentación, y así en el momento de buscar una fuente laboral ganar experiencia en el manejo de dichos procesos.

VII. REFERENCIAS

- [1] B. P. Oscar Mauricio, «BREVE HISTORIA DE LA INGENIERÍA MECÁNICA,» 27 Marzo 2005. [En línea]. Available: <http://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2013/01/historia-de-la-ingenieria-mecanica.pdf>. [Último acceso: 2 Octubre 2015].
- [2] J. Araya Rojas, «El impacto de la combinación del recurso humano y la automatización en las líneas de producción,» *bb9*, vol. I, n° 1, pp. 2-4, 2013.
- [3] S. Estrada Mejía, «LIDERAZGO A TRAVES DE LA HISTORIA,» *Scientia et Techina*, vol. I, n° 1, pp. 343-346, 2007.
- [4] M. Carvajal, «Reportero Industrial,» Carvajal Medios, 1 Julio 2014. [En línea]. Available: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Evolucion-de-la-automatizacion-industrial+98784>. [Último acceso: 14 Octubre 2015].
- [5] M. Culebro Juárez, W. G. Gómez Herrera y S. Torres Sánchez, *Software libre vs software propietario*, México: UNAM, 2006.
- [6] L. . D. Murillo Soto, «Automatización de pequeña escala con Open Hardware,» *Tecnología en marcha*, vol. 28, n° 1, pp. 15-23, 2014.

VIII. BIOGRAFÍA



Sebastián Francisco Panchi Olivo. - Nació el 28 de Agosto de 1992 en la Ciudad de Latacunga, cursó sus estudios en la Unidad Educativa Técnica Particular “Hermano Miguel”, y sus estudios superiores de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.



Washington Paúl Herrera Sinchiguano. - Nació el 13 de Marzo de 1988 en la Ciudad de Latacunga, cursó sus estudios en el Instituto Tecnológico Superior “Ramón Barba Naranjo”, y sus estudios superiores de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga.