

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DOSIFICADOR DE LÍQUIDOS POR DIFERENCIA DE PESOS

Jéssica Montenegro y Humberto Arthos
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, ESCUELA POLITÉCNICA DEL
EJÉRCITO

Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador
betoantonioplus@msn.com, jessymontenegro_19@hotmail.com

Resumen - Un dosificador es un equipo que entrega o suministra una proporción exacta de algún material (líquidos, resinas, fluidos, polvos, granulados), con la finalidad de mezclarlo con otros componentes que forman una mezcla en particular.

En la cátedra de control de procesos se ha visto la necesidad de que el estudiante tenga una interacción más cercana con el proceso de dosificación, por esta razón con el proyecto planteado se dotará al laboratorio de un módulo didáctico para la elaboración de mezclas, similar al que se usa en los sectores alimenticios y farmacéuticos con el fin de elaborar productos con cantidades definidas de mezclas.

El dosificador de líquidos por diferencia de peso consiste en dos tolvas dosificadoras que almacenan líquidos que posteriormente serán mezclados, la tolva de mezcla, y el sistema de descarga está formado por dos electroválvulas.

El sistema de pesaje se realiza a través de una celda de carga instalada en una tolva dosificadora, en la otra tolva se encuentra un sensor de presión.

Se incluirá una guía de prácticas que permita a los estudiantes involucrarse con el uso del módulo didáctico dosificador de líquidos.

En suma, a través de este proyecto, los estudiantes realizarán prácticas de laboratorio con las variables de peso y presión y controlarán la dosificación a través

de distintos tipos de control como el control on-off, control on-off con histéresis y control de razón.

Palabras claves – Celda de Carga, Sensor de Presión, PLC Allen Bradley MicroLogix 1100, HMI, Intouch, RSLogix 500, Control ON-OFF, Control ON-OFF con histéresis, Control de Razón.

I. INTRODUCCIÓN

Una mezcla se obtiene mediante la combinación de dos o más sustancias en cualquier proporción.

Se requieren mezclas en varios procesos de fabricación de alimentos de consumo humano, medicinas, balanceados para la industria ganadera, en la fertilización, etc. En la elaboración de estos productos se requiere que las cantidades de componentes que conforman la mezcla sean las adecuadas, con un grado de error mínimo. Obtener este grado de precisión mediante un proceso de mezcla manual resulta una tarea complicada e implica un retardo en el proceso, debido a estas razones los procesos de mezcla basados en el trabajo manual, están siendo paulatinamente remplazados por la manufactura de maquinaria.

Las industrias han optado por la adquisición de equipos dosificadores, los cuales trabajan en forma automática, generalmente controlados a través de un PLC y panel gráfico.

Un equipo dosificador de líquidos es un sistema electromecánico que entrega una proporción establecida de líquidos mediante el pesaje de los mismos, con la finalidad de mezclarlos con otros

componentes que forman una mezcla en particular.

El proyecto consiste en diseñar e implementar un dosificador de líquidos, que será utilizado didácticamente en el Laboratorio de Control de Procesos. Se incluye una guía de prácticas que permitirá que los estudiantes se involucren con el funcionamiento del módulo didáctico dosificador de líquidos.

II. DOSIFICACIÓN

El proceso de dosificación consiste en fijar o graduar la proporción de una sustancia que será agregada en cada etapa de un proceso. Un dosificador es un equipo que entrega o suministra una proporción exacta de algún material (líquidos, resinas, fluidos, polvos, granulados), con la finalidad de mezclarlo con otros componentes que forman una mezcla en particular.

En Ecuador se utilizan dosificadores en la industria farmacéutica para la dosificación de sustancias que conforman cremas e inyecciones, y en la industria agroalimentaria para la fabricación de productos alimenticios.

III. TIPOS DE CONTROL

A. CONTROL ON OFF

El control ON-OFF, también llamado todo-nada o abierto-cerrado, es la forma más simple de control por realimentación. Es un control de dos posiciones en el que el elemento final de control sólo ocupa una de las dos posibles posiciones.

Se puede describir matemáticamente de la siguiente forma:

$$u(s) = \begin{cases} u_{\max} & \text{si } e < 0 \\ u_{\min} & \text{si } e > 0 \end{cases}$$

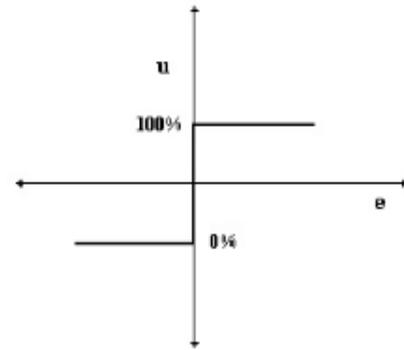


Figura. 1 Control ON-OFF

En la Figura 1 se puede observar que cuando la variable de salida es menor al Set Point, se le asigna a la variable manipulada el valor máximo, mientras que cuando el Set Point es menor a la variable de salida se le asigna el valor mínimo.

El controlador actuará de la siguiente manera:

$e(t) > 0 \Rightarrow$ Set Point > variable de salida \Rightarrow Válvula abierta

$e(t) < 0 \Rightarrow$ Set Point < variable de salida \Rightarrow Válvula cerrada

B. CONTROL ON OFF CON HISTÉRESIS

De la Figura 2 se puede describir matemáticamente un control on-off con histéresis de la siguiente manera:

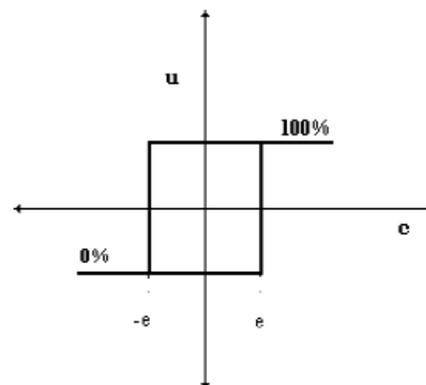


Figura. 2. Control ON-OFF con histéresis

$$U(s) = \begin{cases} u = 0, & \text{si } e > +\text{histéresis} \\ u = 1, & \text{si } e < -\text{histéresis} \\ u \text{ se mantiene,} & \text{si } -\text{histéresis} < e < +\text{histéresis} \end{cases}$$

Donde $e = T_{out} - SetPoint$ y $U(s)$ es la variable de entrada al proceso a controlar. El ajuste de la zona muerta de histéresis produce dos efectos:

- El tiempo entre conmutaciones aumenta cuando Δe aumenta.
- La amplitud del ciclo límite también aumenta cuando Δe aumenta.

El primer efecto es deseable, ya que reduce el deterioro del actuador final. El segundo, normalmente, no es beneficioso ya que la variable controlada se aleja demasiado de su valor deseado.

C. CONTROL DE RAZÓN

Es una técnica de control muy común en los procesos industriales. Para ejemplificar el control de razón, se considera que se deben mezclar dos corrientes de líquidos A y B, en cierta proporción o razón R, esto es, como se muestra en la Ecuación.1.

$$R = \frac{B}{A} \quad \text{Ecuación .1. Control de Razón}$$

El proceso se muestra en la Figura 3.

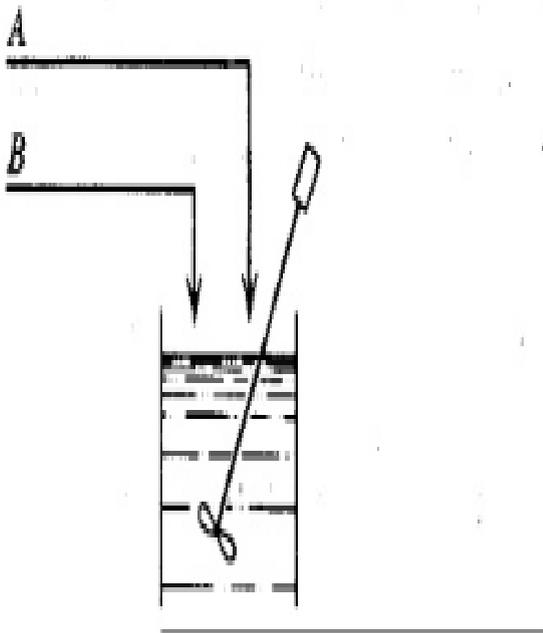


Figura. 3. Mezcla de dos corrientes líquidas

En la Figura 4 se expone una manera fácil de cumplir con dicha tarea; cada flujo se controla mediante un circuito de flujo en el cual el punto de control de los controladores se fija de manera tal que los líquidos se mezclan en la proporción correcta.

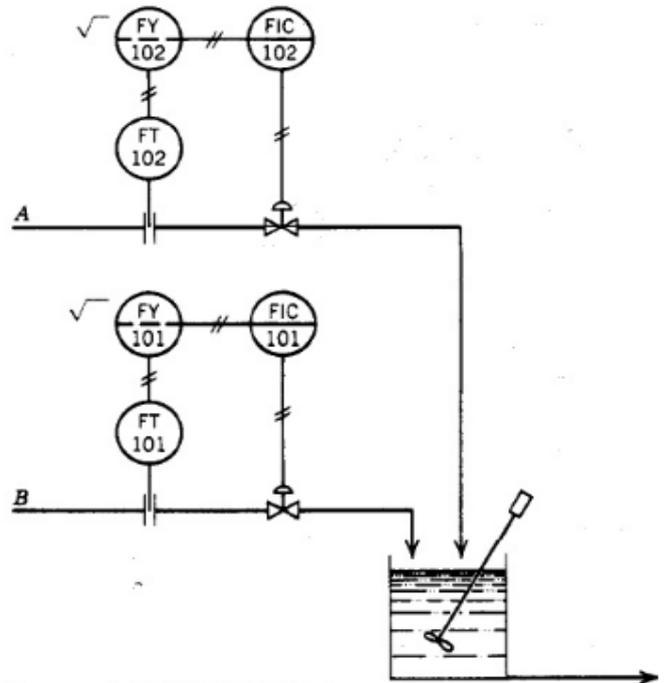


Figura. 4. Control de la mezcla de dos corrientes líquidas

Sin embargo, si ahora se supone que no se puede controlar uno de los flujos (la corriente A), sino únicamente medirlo, flujo que se conoce como flujo salvaje, se maneja generalmente para controlar alguna otra cosa, por ejemplo el nivel o la temperatura corriente arriba, y, por lo tanto, ahora la tarea de control es más difícil.

De alguna manera, la corriente B debe variar conforme varía la corriente A, para mantener la mezcla en la razón correcta. En la Figura 5. se muestra un esquema posible de control de razón.

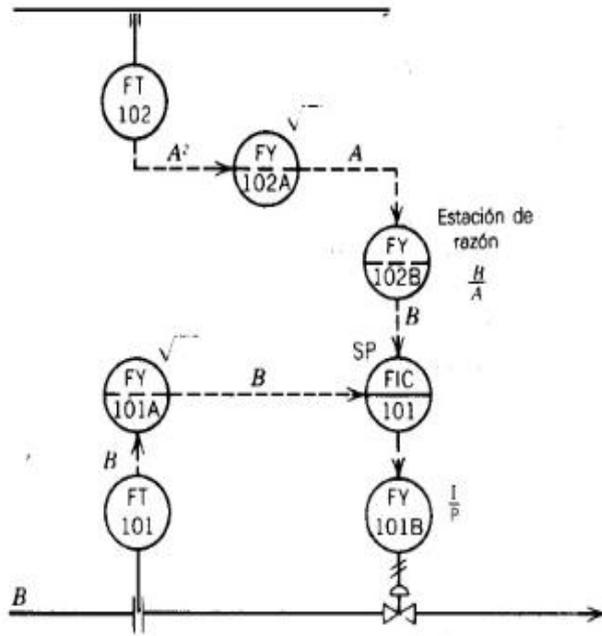


Figura. 5. Control de razón del sistema de mezcla

Consiste en medir el flujo salvaje y multiplicarlo por la razón que se desea (en FY 102 B) para obtener el flujo que se requiere de la corriente B, esto se expresa matemáticamente como se indica en la Ecuación 2.

$$B=R*A \quad \text{Ecuación 2}$$

La salida del multiplicador o estación de razón, FY102B, es el flujo que se requiere de la corriente B, y por lo tanto, ésta se utiliza como punto de control para el controlador de la corriente B, FIC101; de manera que, conforme varía la corriente A, el punto de control del controlador de la corriente B variará en concordancia con aquella para mantener ambas corrientes en la razón que se requiere.

Se nota que, si se requiere una nueva razón entre las dos corrientes, la R nueva se debe fijar en el multiplicador o estación de razón.

IV. DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA DOSIFICADOR DE LÍQUIDOS

El módulo didáctico dosificador de líquidos está constituido por los siguientes elementos:

Tolvas dosificadoras: El sistema dosificador de líquidos consta de dos tolvas dosificadoras. Las

tolvas almacenan diferentes líquidos los cuales posteriormente son mezclados.

Sistema de descarga: Se encarga del transporte de los líquidos desde las tolvas dosificadoras hacia la tolva de mezcla. El sistema de descarga está constituido por electroválvulas.

Tolva de Mezcla: Almacena los dos líquidos provenientes de las tolvas dosificadoras. El control del sistema se realiza a través de un PLC que controla el accionamiento de las electroválvulas, la lectura de la celda de carga y el sensor de presión y una luz indicadora que representa el fin del proceso de dosificación.

El sistema de descarga consta de una electroválvula para cada tolva dosificadora. Las electroválvulas constituyen el elemento de control, el PLC se encarga de su activación o desactivación, a fin de que viertan la cantidad de líquido requerido desde las tolvas dosificadoras hacia la tolva de mezcla. A las salidas a relé del PLC se conectan las electroválvulas.

A. TIPOS DE CELDA DE CARGA Y SELECCIÓN

Se utiliza una celda de carga para medir el peso del líquido en una de las tolvas dosificadoras.

Las celdas de carga son sensores de peso electrónicos cuya finalidad es recibir la excitación eléctrica provocada por un peso aplicado.

Existe en el mercado una muy amplia variedad de celdas de carga, las cuales varían en forma, tamaño, material, aplicación, precisión entre otras cosas.

Después de analizar las características de los diferentes tipos de celdas de carga, se ha elegido la celda de carga de flexión de viga, debido a que ofrece alta precisión y estabilidad, estas características son importantes para el proceso de dosificación.

Existen algunas clases de celdas de carga de flexión de viga. Para seleccionar adecuadamente la celda de carga se debe considerar

principalmente el peso del producto que se inyecta a la tolva.

En la Figura 6 se observa la celda de carga utilizada en el módulo didáctico dosificador de líquidos.



Figura. 6. Celda de carga de viga de flexión

B. SELECCIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN

En la segunda tolva dosificadora se emplea un sensor de presión diferencial para medir la diferencia de presión que existe a medida que sube o baja el nivel del líquido dentro de la tolva. La señal analógica proveniente del sensor de presión se ingresa a una entrada analógica del PLC a fin de dosificar la cantidad requerida de líquido.

En la Figura 7 se observa el sensor de presión utilizado en el módulo didáctico dosificador de líquidos.

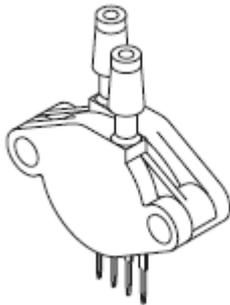


Figura. 7. Sensor de presión diferencial Motorola MPX10DP

C. PLC

El controlador del sistema dosificador de líquidos es un PLC Allen Bradley MicroLogix 1100, código 1763-L16BBB. Tiene incorporadas 10 entradas digitales, 2 entradas

análogas, 2 salidas digitales tipo relé y 4 salidas digitales de 24 VDC.

El PLC MICROLOGIX 1100 se indica en la Figura 8.

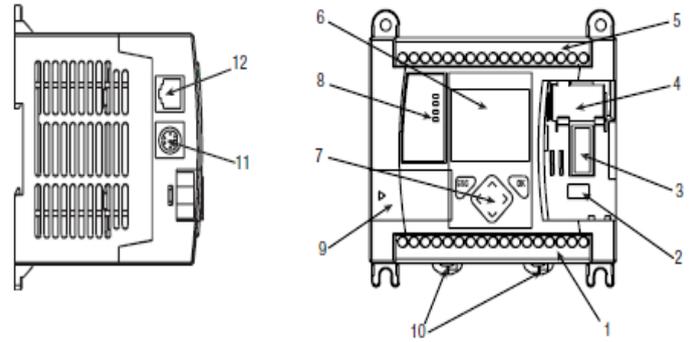


Figura. 8. Partes constitutivas del PLC MicroLogix 1100.

Se utilizan 4 entradas digitales para el desarrollo del sistema dosificador de líquidos. Las señales analógicas provenientes de la celda de carga y del sensor de presión se ingresan al PLC, el cual se encarga de realizar el control sobre los actuadores que, en este caso, son electroválvulas para que se dosifique la cantidad de líquido requerido.

El PLC tiene incorporadas 2 entradas análogas de voltaje (0-10 VDC).

El PLC MicroLogix 1100 tiene incorporadas 2 salidas digitales tipo relé, se utilizan estas salidas para la conexión de las electroválvulas.

V. DISEÑO DEL SOFTWARE

Se utilizan los siguientes programas de desarrollo, para diseñar el software que permite el funcionamiento del dosificador de líquidos.

- RSLogix 500
- RSLinx
- WONDERWARE INTOUCH

Con el software WONDERWARE INTOUCH se realiza la programación de la interfaz hombre-máquina amigable al operador, con el software RSLogix 500 se desarrolla el algoritmo de control del PLC en lenguaje Ladder, el software RSLinx permite la comunicación entre el PLC y el HMI.

El módulo didáctico dosificador de líquidos permite trabajar en dos modos de operación: MANUAL y AUTOMÁTICO.

El usuario puede realizar el control remoto del sistema dosificador, utilizando el HMI diseñada en InTouch a través de una computadora. El PLC recibe todos los parámetros necesarios para realizar los tipos de control desde el HMI.

Para realizar un Control Remoto Manual, es decir control manual del sistema por computadora, el operador tiene en el HMI dos selectores para encender o apagar las electroválvulas de acuerdo a sus requerimientos.

Para realizar el control automático del proceso de dosificación de líquidos, el operador debe ingresar el Setpoint Celda de Carga y Setpoint Sensor de Presión. En la pantalla se indica el valor correspondiente a la variable del proceso de la celda de carga y la variable del proceso del sensor de presión.

El HMI del módulo didáctico dosificador de líquidos consta de siete pantallas:

- Pantalla Principal.
- Pantalla Laboratorio Uno.
- Pantalla Laboratorio Dos.
- Pantalla Laboratorio Tres.
- Pantalla Laboratorio Cuatro.
- Pantalla Laboratorio Cinco.
- Pantalla de Gráficos.

En la Figura 9 se observa la pantalla principal de la interfaz HMI del módulo didáctico dosificador de líquidos.



Figura. 9, Pantalla principal del módulo didáctico dosificador de líquidos

En la Figura 10 se observa la pantalla del laboratorio uno correspondiente al escalamiento de entradas análogas del PLC.

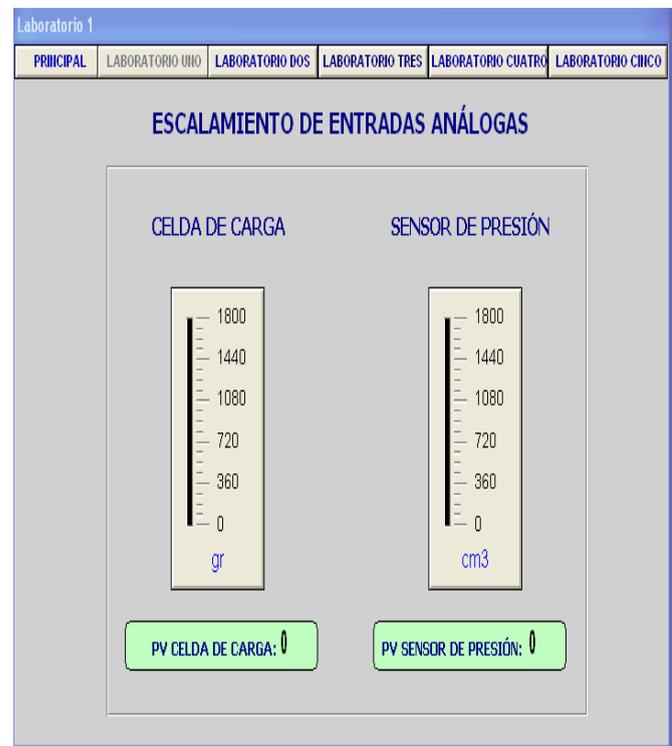


Figura. 10. Escalamiento de Entradas Análogas del PLC

En la Figura 11 se observa la pantalla del laboratorio dos correspondiente al control on-off.

En la Figura 13 se observa la pantalla del laboratorio cuatro correspondiente al control de razón.

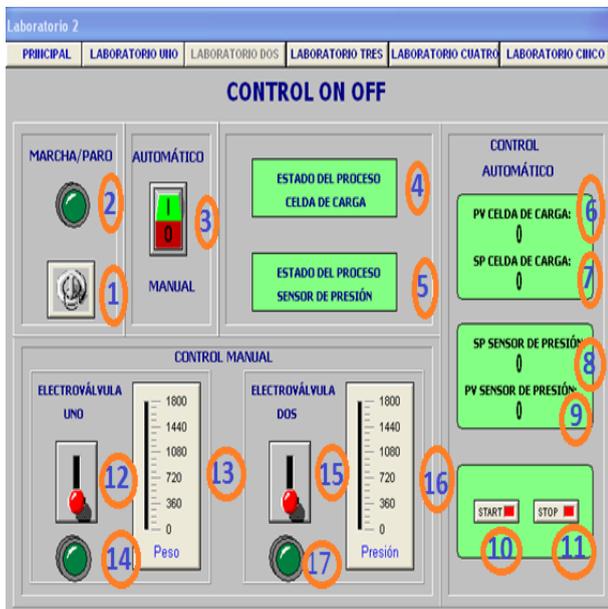


Figura. 11. Pantalla Laboratorio Control On-Off

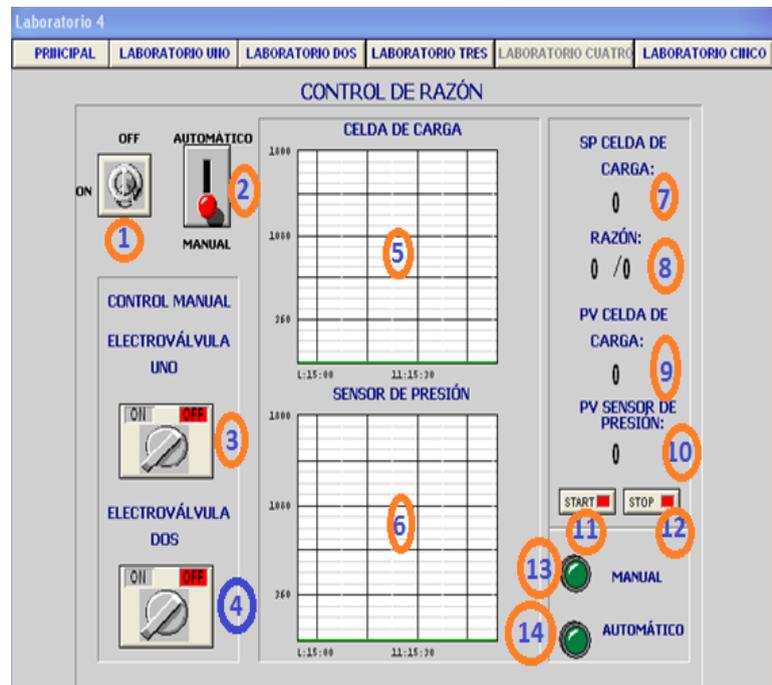


Figura. 13. Pantalla Laboratorio Control de Razón

En la Figura 12 se observa la pantalla del laboratorio tres correspondiente al control on-off con histéresis.

En la Figura 14 se observa la pantalla del laboratorio cinco correspondiente al funcionamiento completo del módulo didáctico.

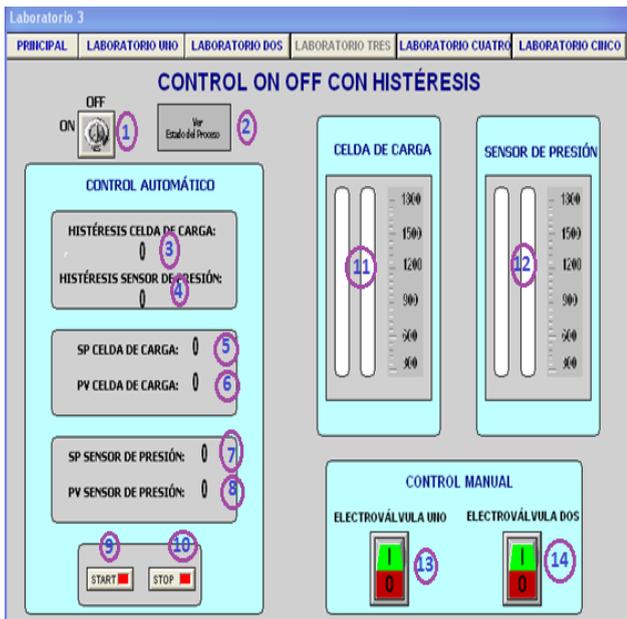


Figura. 12. Pantalla Laboratorio Control On-Off con histéresis



Figura. 14. Pantalla Principal Laboratorio Cinco

VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

Respuesta de la Celda de Carga: Los pasos que se efectuaron para identificar la respuesta de la celda de carga se detallan a continuación:

1. Se colocaron pesos del líquido con valores conocidos sobre la tolva dosificadora.
2. Se midió la respuesta de voltaje, después de la etapa de amplificación. Se obtuvieron valores de voltaje realizando 3 pruebas con diferentes valores de peso.

En la tabla 1 se indica las respuestas de la celda de carga.

Peso (g)	Voltaje Medido 1 (V)	Voltaje Medido 2 (V)	Voltaje Medido 3 (V)
300	2.402	2.400	2.405
600	3.214	3.212	3.214
900	4.040	4.000	4.060
1000	4.680	4.700	4.720
1200	4.800	4.820	4.900
1500	5.560	5.580	5.70

Tabla. 1. Respuesta de la celda de carga

Se realizó el cálculo del promedio entre cada valor de peso, aplicando la Ecuación 3.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_0^n x_n \quad \text{Ecuación 3}$$

Aplicando la Ecuación 3 para el valor de voltaje en 900 g se tiene:

$$\bar{x} = \frac{1}{3}(4.040+4.000+4.060)$$

$$\bar{x}=4.033$$

En la tabla 2 se indica los valores de voltaje promedio medidos con relación a los voltajes ideales.

Peso(g)	Voltaje Medido (V)	Voltaje ideal (V)
300	2.402	2.4
600	3.213	3.2
900	4.033	4
1000	4.700	4.7
1200	4.84	4.8
1500	5.61	5.6

Tabla. 2. Valores promedio medidos con relación a los voltajes ideales

Se calcula las desviaciones de error aplicando la Ecuación 4.

$$e(\%) = \frac{|V_m - V_r|}{V_m} \times 100\% \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Aplicando la Ecuación 4. para el valor de voltaje en 900 g se tiene:

$$e(\%) = \frac{|4 - 4.033|}{4.033} \times 100\%$$

$$e(\%) = 0.81\%$$

En la Tabla 3 se indica los valores de desviación que se obtuvieron para todos los valores de peso:

Peso (g)	Error (%)
300	0.40%
600	0.40%
900	0.81%
1000	0%
1200	0.83%
1500	0.17%

Tabla. 3. Valores de desviación para los valores de peso Pruebas del Sensor de Presión

Respuesta del sensor de presión: El sensor de presión fue sometido a pruebas para observar su comportamiento. Uno de los objetivos principales de realizar las pruebas, es comprobar la linealidad que garantiza el fabricante.

Los pasos que se efectuaron para realizar esta prueba se detallan a continuación:

1. Se tomaron diferentes valores de voltaje para diferentes volúmenes del líquido. Dichos valores se obtuvieron realizando 3 pruebas con diferentes valores de volumen.
2. Se realizó una tabla con estos valores.
3. Se realizó una gráfica del comportamiento del sensor. En la tabla 4 se indica las respuestas del sensor de presión.

Volumen (cm3)	Voltaje Medido 1 (V)	Voltaje Medido 2 (V)	Voltaje Medido 3 (V)
300	3.56	3.6	3.54
600	4.01	4.03	4.01
900	4.48	4.50	4.48
1000	4.69	4.70	4.72
1200	5.34	5.30	5.32
1500	5.78	5.76	5.78

Tabla. 4. Respuesta del sensor de presión

Se realizó el cálculo del promedio entre cada valor de peso, aplicando la Ecuación 3.

Aplicando la Ecuación 4 para el valor de voltaje en 1500 cm³ se tiene:

$$\bar{x} = \frac{1}{3}(5.78+5.76+5.78)$$

$$\bar{x} = 5.77$$

En la tabla 5 se indica los valores de voltaje promedio medidos con relación a los voltajes ideales.

Peso(g)	Voltaje Medido (V)	Voltaje ideal (V)
300	3.56	3.54
600	4.01	3.99
900	4.49	4.44
1000	4.70	4.89
1200	5.32	5.34
1500	5.77	5.79

Tabla. 5. Valores promedio obtenidos en pruebas del sensor de presión

Se calcula las desviaciones de error aplicando la Ecuación 4.2.

Aplicando la Ecuación 4 para el valor de voltaje en 1500 cm³ se tiene:

$$e(\%) = \frac{|5.77 - 5.79|}{5.77} \times 100\%$$

$$e(\%) = 0.35\%$$

En la Tabla 6 se indica los valores de desviación que se obtuvieron para todos los valores de

presión:

Peso (g)	Error (%)
300	0.40%
600	0.40%
900	0.81%
1000	0%
1200	0.38 %
1500	0.35%

Tabla. 6. Valores de desviación para los valores de presión

VII. CONCLUSIONES

Las guías de laboratorio planteadas permiten manejar el módulo didáctico dosificador de líquidos a través de un control automático y un control manual local o remoto. Su operación es sencilla y fácil de entender, el módulo será aprovechado por los estudiantes para que trabajen con las variables de peso y presión y controlen la dosificación a través del control on-off, control on-off con histéresis y control de razón.

Para realizar el control del sistema dosificador, es necesario adquirir los datos provenientes de la celda de carga y el sensor de presión. Las salidas de la celda de carga y el sensor de presión son señales análogas de voltaje, por lo general en el orden de los milivoltios, y representan la variación del peso y presión de los líquidos en las tolvas dosificadoras.

Para el control de peso y presión se implementó un control ON-OFF con histéresis, esta acción de control para la aplicación realizada en este proyecto funciona de manera adecuada; ya que las variables de control son relativamente lentas, por efecto de los componentes físicos del módulo didáctico.

VIII. RECOMENDACIONES

Se debe realizar un mantenimiento preventivo al dosificador de líquidos para un correcto funcionamiento de la celda de carga, sensor de presión y electroválvulas. El mantenimiento que se debe realizar es el siguiente:

- Verificar el correcto funcionamiento de la celda de carga, para realizar esta verificación se debe colocar líquido sobre la tolva dosificadora gradualmente.
- Verificar el correcto funcionamiento del sensor de presión, para realizar esta verificación se debe colocar líquido sobre la tolva dosificadora gradualmente.
- Limpieza general de las tolvas dosificadoras, del sistema de descarga y de la tolva de mezcla.

Jéssica Montenegro, nació el 4 de octubre de 1987 en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha-Ecuador.



Recibirá el título de Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control en la Escuela Politécnica del Ejército en el mes de Octubre del 2012.

Entre sus campos de interés destacan la ingeniería naval y sistemas de monitoreo y control.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <http://dosificadorgcsg.blogspot.com/>, Dosificador
- www.ocw.uc3m.es/ingenieríamecanica/.de./tornillos_sin_fin.pdf, Tornillos Sin Fin
- www.monografias.com/trabajos11/valvulas.html, Válvulas: Instrumentación y Control
- MOLINA, Jorge, *Control Industrial*, Primera Edición, EPN, Quito 2008, 150.
- COUGHLIN, Robert, *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*, Segunda Edición, Prentice Hall Pearson Education, España 1999, 180.
- www.esl.com.co/Semillero1.pdf, Diseño e implementación de un módulo de proceso de Monitoreo y control de nivel y flujo basado en PC bajo plataforma LABVIEW.
- www.laci.unq.edu.ar/materias/./HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf, Introducción a HMI (Interfaz Hombre Máquina).

X. SOBRE LOS AUTORES

Humberto Antonio Arthos Montúfar, nace en la ciudad de Quito, en el año de 1987, obtiene el título de Bachiller Físico Matemático en el colegio Gonzaga de ciudad de Quito, Egresado de la Escuela Politécnica del Ejército en el año 2011 de Ingeniería Electrónica especialidad en Automatización y Control.



