

# ESTACIÓN DE LLENADO Y TAPADO DE UNA EMBOTELLADORA PARA USO DIDÁCTICO

## FILLING AND CAPPING STATION OF A BOTTLING MACHINE FOR EDUCATIONAL USE

CARTAGENA CANAVIRI, B. R., TORO GARCÍA, J. M

### RESUMEN

**L**a propuesta de Fábricas de Aprendizaje, FA, ofrece un enfoque didáctico prometedor para el desarrollo de competencias esenciales en la formación de profesionales contemporáneos, tales como la solución de problemas, el trabajo colaborativo, el liderazgo, las comunicaciones efectivas y la toma de decisiones. Para mejorar el aprendizaje teórico y práctico de los estudiantes, es fundamental que el laboratorio cuente con una estación de automatización relacionada con un proceso de una planta embotelladora de líquidos. Esto permitirá que los estudiantes no solo aprendan a cablear y programar los controladores, sino también a realizar acciones clave utilizadas en la industria, como la resolución de errores, el manejo de actuadores, el mantenimiento del proceso, la supervisión del mismo, el acoplamiento o desacoplamiento de componentes, la medición de la velocidad de producción, entre otros. Con el fin de lograr una apropiación óptima de conocimientos y habilidades por parte de los estudiantes, se ha diseñado la estación de automatización de una planta embotelladora de líquidos en dos partes: la máquina de proceso y el tablero de control. Ambas partes se han diseñado de manera didáctica y sencilla para facilitar la comprensión y el aprendizaje de los estudiantes.

### PALABRAS CLAVE

Fábricas de Aprendizaje,  
Planta embotelladora de líquidos,  
Automatización.

### ABSTRACT

**T**he Learning Factories, FA, proposal offers a promising didactic approach for the development of essential skills in the training of contemporary professionals, such as problem solving, collaborative work, leadership, effective communications and decision-making. To improve the theoretical and practical learning of the students, it is essential that the laboratory has an automation station related to a process of a liquid bottling plant. This will allow students to not only learn how to wire and program the controllers, but also to perform key actions used in the industry, such as error resolution, actuator handling, process maintenance, process monitoring, coupling or decoupling of components, measurement of production speed, among others. In order to achieve an optimal appropriation of knowledge and skills by the students, the automation station of a liquid bottling plant has been designed in two parts: the process machine and the control panel. Both parts have been designed in a didactic and simple way to facilitate the understanding and learning of the students.

### KEYWORDS

Learning Factories,  
Liquid bottling plant,  
Automation.

## INTRODUCCIÓN

La educación es uno de los caminos para afrontar los retos en las cambiantes condiciones económicas y sociales mundiales, sin embargo, la enseñanza no ha crecido a la misma velocidad que los avances tecnológicos.

Propuestas como las “Fábricas de Aprendizaje” se han expuesto como un enfoque didáctico prometedor para el desarrollo de competencias tales como solución de problemas, trabajo colaborativo, liderazgo, comunicaciones efectivas, toma de decisiones y así dotar a los profesionales contemporáneos de herramientas para enfrentar estos desafíos

El Laboratorio de Automatización Industrial ofrece al estudiante una amplia formación y la experiencia de sus profesionales en el ámbito científico y académico para poder innovar y aplicar soluciones.

El uso del Laboratorio permite que el estudiante acceda a análisis, estudios técnicos, desarrollo de proyectos, integración de sistemas y construcción o creación de prototipos.

Las industrias se quejan de la carencia de experiencia laboral de los ingenieros recién egresados. En respuesta a este problema se han creado Fábricas de Aprendizaje en algunos países del mundo.

Estas Fábricas de Aprendizaje nacen como una solución para esta problemática ya que su objeto es vincular al sector académico con el sector industrial real en forma permanente y desarrollar esas competencias.

Una Fábrica de Aprendizaje se define como una réplica idealizada de secciones de la cadena de valor de la industria donde el aprendizaje tiene lugar en forma vivencial.

Estas fábricas se han utilizado para fines educativos, de investigación y formación en áreas tales como producción, eficiencia energética, procesos de operaciones de servicio, automatización, entre otros. (Guarin et al., 2016.)

La misión de la Fábrica de Aprendizaje es integrar el diseño, manufactura y realidades empresariales en el currículo de la ingeniería. Este objetivo se logra mediante el balance entre las ciencias de la ingeniería y la práctica de la ingeniería. (Rentzos et al, 2014) (Wagner U. et al, 2014).

Más que un laboratorio de prácticas tradicionales, la Fábrica de Aprendizaje es un espacio donde el estudiante obtiene experiencia laboral mientras están en la Universidad. (Universidad EAFIT, 2018)

La ventaja de la Fábrica de Aprendizaje es que, en ese espacio cada estudiante podrá probar y experimentar procesos, equipos, maquinarias, interactuando con ellos.

De esta manera el estudiante experimentará el trabajar en una industria, qué se tiene que hacer, qué se tiene que cuidar, todo con el propósito de aplicar lo aprendido en la industria o fábrica donde vaya a trabajar.

## DESARROLLO

Con el fin de iniciar una Fábrica de Aprendizaje se seleccionó el diseño de una estación para el llenado y tapado de recipientes contenedores de líquido.

Como primer paso se analizaron los pasos que conformarían la estación de llenado y tapado de una embotelladora de líquidos. Se consideró que Transporte, Llenado y Tapado eran los más importantes

Se tomaron en consideración ciertos requerimientos para la selección del sistema adecuado como que debería ser de fácil ensamblado, pequeño, liviano, costo bajo, automático, visible y sencillo.

Por comparación entre las características de los diferentes tipos de sistemas de transporte, llenado y tapado, y tomando en cuenta los requerimientos necesarios, se seleccionaron los siguientes procesos:

- Transporte lineal por cinta transportadora.
- Llenado por gravedad.
- Tapado eléctrico automatizado.

En el diseño de la estación didáctica se tomaron en cuenta los siguientes requerimientos para que cualquier estudiante pueda implementar y manipular libremente:

- De pequeña dimensión: 2,81 x 1,50 m.
- Un proceso que sea lo más visible posible.
- Que muestre el funcionamiento básico de una embotelladora.
- Que la estación sea apta para botellas de 200 mm de altura y diámetro de 80 mm.
- Que los materiales y componentes de cada sistema deban ser comerciales y de fácil adquisición en el mercado local.
- Que el mecanismo de cada sistema sea fácil de entender por cualquier estudiante.

La estructura principal tuvo un diseño sencillo y visual como el que se muestra en la figura 1.

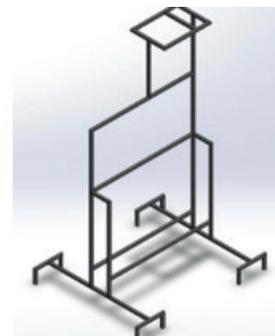


Figura 1 Diseño de la estructura principal

La estructura se simuló en acero AISI 304 que es un acero utilizado en la industria alimenticia. En la figura 2 se muestra el resultado de la simulación de esfuerzos.

Ninguna de las partes de la estructura sufre un esfuerzo que supere el límite elástico, es decir, toda la estructura está en la zona elástica..

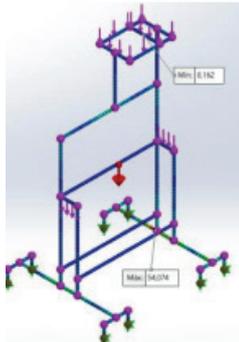


Figura 2. Simulación de esfuerzo Axial y de flexión

El sistema de transporte lineal seleccionado, la figura 3, es accionado mediante piñones y tablas, el que es comúnmente utilizado para los transportes de envases de botellas y de líquidos.

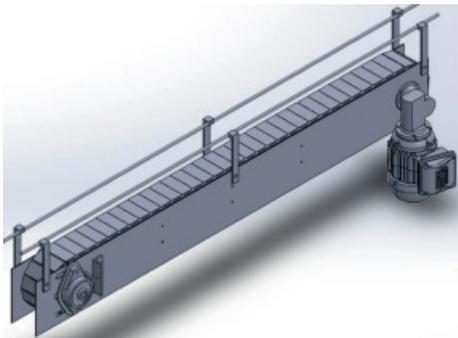


Figura 3. Proceso de transporte lineal

Primeramente, se seleccionó el motor del sistema de transporte tomando en cuenta la masa total que el motor tendría que mover.

Los elementos del sistema considerados fueron: Botellas de 300 cm<sup>3</sup>, cinta de cadena, piñón y eje.

Se determinó que era necesaria una fuerza del motor de 2,01 N.

A continuación, se halló la potencia mecánica del motor requerido, que fue de 0,42 W, seleccionándose un motor de 0,16 HP de 4 polos, con una eficiencia eléctrica estándar (IE1) para un costo y consumo de corriente reducido.

La velocidad nominal del motor eléctrico seleccionado fue de 1430 rpm, cuya velocidad tangencial en un piñón de 155 mm es de 11,61 m/s. Por ello se requirió un reductor de velocidad con el propósito de convertir la velocidad calculada a sólo 0,2 m/s como velocidad máxima. La relación de reducción determinada fue 58,03. Se seleccionó el tipo Alumag, debido al material de menor peso además de ofrecer una mejor relación costo/beneficio por sus demás características. El reductor es uno con reducción de 50 para una entrada de velocidad de 1150 rpm.

Para el llenado de la botella es necesario un sensor que ayude a saber cuándo cerrar la válvula solenoide, requiriéndose para esto de un caudalímetro que tiene como función principal medir la velocidad del flujo o caudal que pasa por el sensor, el cual es aprovechado para realizar el control del llenado de las botellas.

Se seleccionó el tipo turbina por cumplir con todas los requerimientos. Se escogió el caudalímetro marca SIKA, “Sensor de flujo de turbina VTY 10”, que tiene las siguientes características:

- Diámetro: ½ in.
- Factor K: 495 pulsos/litro.
- Voltaje: 4.5 a 24 VDC.
- Rango de flujo 1– 30 l/min.
- Sensor: efecto Hall.

El llenado se realizó a través de electroválvulas de líquido conectadas a una manguera y tuberías del tanque por una brida, con movimiento en dirección vertical con un pistón neumático.

Este sistema de llenado por gravedad está compuesto por tuberías de PVC conectadas con mangueras para permitir que el líquido pueda fluir del tanque o reservorio hacia la botella. Para el cálculo del caudal se tomó en cuenta que:

- El diámetro de las dos redes de tuberías es de ½ in.
- El tanque o reservorio de agua estará abierto a la atmosfera.
- La diferencia de altura entre el punto más alto del reservorio y la salida de la válvula de solenoide de agua es de 35 cm.

El caudal fue de  $3,31 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s, que se dividió entre 5 para obtener el caudal de llenado de cada botella,  $6,64 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. Este dato, más el volumen de 300 cm<sup>3</sup> de la botella, sirvió para obtener el tiempo de llenado de 4,53 s.

Componentes:

- Estructura de soporte
- Motorreductor eléctrico DC
- Porta broca para tapar botella
- Material de silicona de caucho

En la figura 4 se muestra la estructura sistema y el proceso de tapado

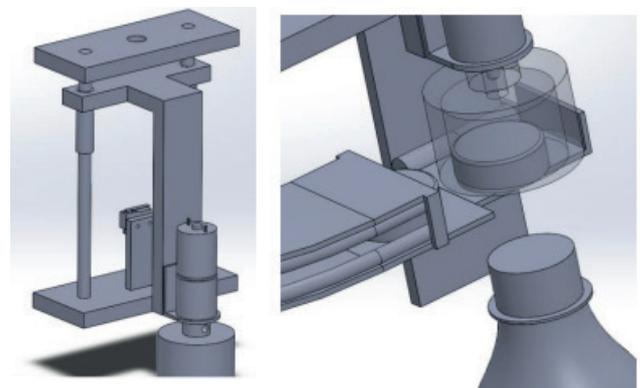


Figura 4. Estructura del sistema y Proceso de tapado de la botella diseñado

La tapa ubicada debajo del tapón de portabrocas, estará sobre un sistema mecánico de bisagra que permitirá que, una vez el motorreductor baje la tapa, quedará dentro del portabrocas y este seguirá bajando, haciendo que la plataforma donde está colocada la botella realice un movimiento de bisagra.

Luego, cuando se accione el final de carrera y el motorreductor haya subido lo suficiente, la plataforma donde estaba la tapa regresará a su posición original con la ayuda de un resorte y se colocará una nueva tapa gracias al camino de botellas.

Diseño eléctrico y electroneumático para el llenado y tapado de líquidos

El diseño eléctrico y electroneumático es fundamental para el funcionamiento y movimiento de la estación de llenado y tapado y está compuesto por tres circuitos:

Circuito eléctrico de potencia del motor eléctrico trifásico de la banda transportadora.

Circuito eléctrico de corriente continua de las válvulas de agua y válvulas neumáticas para las etapas de llenado y tapado.

Circuito neumático para los actuadores neumáticos.

Diseño del circuito eléctrico de potencia del motor trifásico.

El primer paso fue el dimensionamiento de los conductores a partir de las características técnicas del motor seleccionado que fue de 57 A.

Una vez encontrada la corriente eléctrica de cada conductor se calculó la sección del conductor, por 2 métodos: por tabla según norma NB 777 y por la máxima caída de tensión. Se seleccionó un conductor de sección de 1,31 mm<sup>2</sup>.

Para controlar la velocidad del motor eléctrico trifásico se seleccionó un mini variador de frecuencia, CFW-100, que es capaz de alimentar motores con un rango de potencia de 0.16 – 2 HP, que tiene 4 entradas digitales para la configuración de velocidades y es de pequeñas dimensiones.

Para prevenir accidentes por sobrecarga se escogió un disyuntor termomagnético bipolar con corriente nominal de 2 A, de curva C, y un guardamotor tripolar con un rango de corriente nominal de 0.63 – 1 A.

Diseño del circuito de corriente continua.

En este circuito todos los componentes que lo forman requieren de una alimentación de 24 VDC en paralelo. Para el control de la estación de automatización y de su accionamiento se obtuvo la tabla 1, en la que muestra del consumo total de los componentes de corriente continua.

Para la alimentación de los componentes de corriente continua se requirió un convertidor AC/DC. La fuente seleccionada fue de 75 W de la serie EDR de Mean Well. Con esta fuente se tuvo una reserva de 20 A para incorporar nuevos componentes si es necesario.

Este sistema eléctrico sirvió para poder controlar el circuito neumático a través de las electroválvulas de accionamiento eléctrico. Las electroválvulas que se utilizaron fueron de la serie VUVS de la marca FESTO.

Tabla 1. Consumo total de corriente continua de los componentes del circuito,

Componente	Potencia, W	Corriente, A	Cantidad	Corriente total, A
Válvula de agua	6,0	0,250	5	1,250
Válvula neumática	2,6	0,108	5	0,542
Motor DC	4,8	0,200	1	0,200
Relé modular EMR	0,6	0,025	12	0,300
Total				2,292
Potencia, W				55,000

Los cilindros de simple efecto trabajan a una presión estándar de 6 bar, la cual fue regulada por la fuente de aire con la ayuda de la unidad de mantenimiento.

El sistema de llenado y tapado está ubicado en la parte superior de la estructura principal, tiene un cilindro neumático perfilado que permite que el cilindro pueda ser colocado de forma vertical y segura con la ayuda de sujetadores, para que puedan realizar los movimientos de cada sistema.

Se calculó el diámetro mínimo del pistón neumático que debe levantar el conjunto de objetos del sistema de llenado y de tapado. El peso total de los objetos a levantar es de 5 kg. Se seleccionó un cilindro perfilado de doble efecto, de 32 mm de diámetro, con una carrera de 80 mm, vástago con rosca exterior de la marca FESTO.

El resto de los cilindros neumáticos serán cilindros normales, porque su función principal es interactuar, con la ayuda del movimiento del vástago, para que las botellas sean llenadas y tapadas.

El único dato que se debe tomar en cuenta es que debe tener una larga carrera, y si es posible, que tenga relación con los componentes didácticos en caso de querer utilizarlo de forma individual. Se seleccionó el cilindro neumático redondo de simple efecto, de 20 mm de diámetro, una carrera de 50 mm y amortiguación elástica entre sus extremos de la marca FESTO.

Para la electroválvula de los cilindros perfilados se escogió una de 5/2 vías monoestable, normalmente abierto con muelle neumático/mecánico, de accionamiento eléctrico, mientras que, para los cilindros redondos de simple efecto, se escogió la válvula de 3/2 vías monoestable, normalmente abierto, con muelle mecánico de accionamiento eléctrico.

Se seleccionó el compresor de aire AGSA de la línea Pratic CSI 7,4/30, cuyas características cubren las necesidades neumáticas del sistema:

- Caudal de aire: 153 l/min
- Capacidad de aire: 30 litros
- Presión de trabajo: 8,6 bar
- Potencia del Motor: 1,5 HP a 220 VAC.

Diseño del tablero de control de la estación de llenado y tapado

Se seleccionaron los controladores lógicos programables, PLC S7-1200, de la marca de Siemens, y MicroLogix 140 de Rockwell Automation. La entrada de los PLC tiene un voltaje de operación de 24 VDC. Además, se seleccionaron los siguientes elementos de entrada:

Sensor de flujo de turbina VTY 10, que es un sensor magnético debido a que internamente el sensor de efecto Hall detecta campo magnético.

Sensor fotoeléctrico retroreflectivo, que es el único que tiene como aplicación la detección de objetos transparentes, ya que el objeto a detectar es una botella de Polietileno Tereftalato, PET.

Botones y selectores para cada actuador, con el propósito de controlar de forma manual las entradas de PLC.

Las salidas del PLC son de tipo relay, que soportan una corriente de 2 amperios. Cada salida del PLC está conectada en paralelo a la bobina de un relay eléctrico con una lámpara de señalización que se describe a continuación:

Relay tipo bornera porque los actuadores de la estación consumen una corriente inferior a 0.5 amperios.

Bloque de iluminación, para reducir la cantidad de componentes del tablero de control, permitiendo que se identifique si el actuador se ha activado o no.

El diseño el tablero de control cuenta con:

- Grupos de borneras por cada grupo de actuador, entrada, etc.
- Cada grupo tiene su propio esquema eléctrico.
- Los componentes de control están separados por grupos.

La estructura del tablero de control es un perfil cuadrado de 20 x 20 mm, altura total de 1,68 m, un espacio para todos los componentes es de 840 x 650 mm.

El tablero de control tiene como componente principal al PLC, el cual da órdenes a cualquier proceso de automatización.

La estación de llenado y tapado de una embotelladora de líquidos es controlada por las siguientes entradas y salidas del PLC:

La estación del proceso de 8 sensores y 12 actuadores

El tablero del control de 13 botones Para realizar el cambio del PLC se cuenta con 8 terminales de bornera de tipo barrera, TB-1506, para la conexión de cada entrada y salida hacia el PLC.

Para la conexión entre las entradas y salidas del PLC con los sensores, botones, relays y lámparas se utilizan las borneras.

Para la organización se formarán tres grupos de borneras: actuadores, sensores y alimentación.

El grupo de borneras de los actuadores están conectados a los actuadores de la estación de automatización, dividido en tres grupos:

- Electroválvulas de agua
- Electroválvulas neumáticas
- Motor eléctrico trifásico con sus entradas digitales

El grupo de borneras de los sensores están conectados a los sensores de la estación de automatización que tienen 2 tipos de sensores:

- Sensor fotoeléctrico retroreflectivo
- Sensor de flujo de agua

El grupo de borneras de alimentación están conectados a los componentes de protección, para luego alimentar todo el tablero de control con una red de entrada de 220 VAC.

Para identificarla como la red de alimentación de entrada, las borneras de alimentación son BTWP 4 de WEG

Los demás componentes de control y protección, se colocaron como se indican en la figura 4.

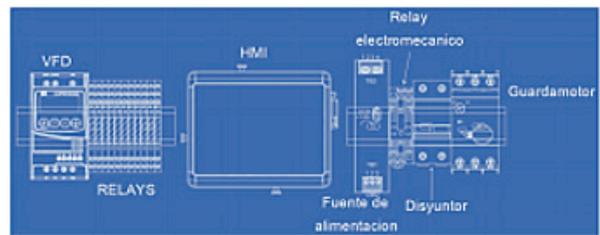


Figura 4. Esquema de los componentes de protección, actuadores y HMI

Se creó una sección en el tablero donde están todos los botones, así como la parada de emergencia que puede desconectar el circuito principal.

Estos están divididos en grupos:

- Electroválvulas neumáticas
- Electroválvulas de agua
- Roscador
- Sistema de transporte

En la figura 5 se muestra el esquema del tablero de botones.



Figura 5. Esquema de tablero para los botones

## CONCLUSIONES

Se diseñó el sistema mecánico utilizando un software de diseño CAD 3D y se verificó la resistencia mecánica de la estructura principal

Se diseñó el sistema eléctrico y neumático con los materiales y componentes necesarios para el funcionamiento y apropiación del conocimiento óptimo.

Se diseñó el tablero de control de la estación de automatización con características similares a las de los tableros de control didácticos de automatización industrial

## REFERENCIAS

---

- AQUILINO RODRIGUEZ P. (2012). Sistemas SCADA. 3ª edición. Editorial Marcombo.
- GUARÍN GRISALES, Á., BAENA RESTREPO F. Tecnología, innovación e investigación en los procesos de enseñanza-aprendizaje / coord. por Rosabel Roig Vila, 2016, ISBN 978-84-9921-848-9, págs. 2548-2558
- IZAGUIRRE CASTELLANOS, E. (2012). Sistemas de automatización. Santa Clara, Editorial Feijóo
- MARTIN J.C., GARCIA M. P. (2016). Automatismos industriales. 1ª Edición. Madrid
- MUHAMMAD H. R. (2004). Electronica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y aplicaciones. 3ª edición. Pearson Educacion. Mexico.
- RENTZOS, L., DOUKAS, M., MAVRIKIOS, D., MOURTZIS, D., & CHRYSOLOURIS, G. (2014). Integrating manufacturing education with industrial practice using teaching factory paradigm: A construction equipment application. *Procedia CIRP*, 17, 189–192.
- WAGNER, U., ALGEDDAWY, T., ELMARAGHY, H., & MÜLLER, E. (2014). Product family design for changeable learning factories. *Procedia CIRP*, 17, 195–200.

**CITA**

