



**DAM 004-22**

**Universidad Católica Boliviana "San Pablo"**  
**Facultad de Ingeniería**  
**DIPLOMADO EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS**  
**MECATRÓNICOS (4TA VERSIÓN)**

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN EN FORMATO IEEE  
PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DEL  
DIPLOMADO EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE  
PROCESOS MECATRÓNICOS (4TA VERSIÓN)

**LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE  
LLENADO DE BOTELLAS**

**Realizado por:**

**WILBER ÁLVARO  
ROJAS FERNÁNDEZ**

**2022**

# Línea de producción de llenado de botellas

Documento para optar por el Título de *Automatización y Control de Procesos Mecatrónicos*  
Universidad Católica Boliviana San Pablo Sede La Paz

Wilber Álvaro Rojas Fernández  
*Estudiante del Diplomado en  
Automatización y Control de Procesos Mecatrónicos*

Fabio Richard Díaz Palacios  
*Coordinador del Diplomado en  
Automatización y Control de Procesos Mecatrónicos*

**Resumen**—La industria de bebidas tiene una importancia significativa en la economía boliviana. Por este motivo, el presente proyecto tiene como objetivo desarrollar una línea de producción simulada para una industria dedicada al llenado de botellas. Se utilizó el software de programación de TIA PORTAL, así como su simulador de PLC's llamado "PLCSIM" junto con el simulador de líneas de producción "Factory IO". Se dividió la línea de producción en 4 secciones iniciales: dosificación, sellado, etiquetado y empaquetado. Sin embargo, la sección de empaquetado adicionó una necesidad de implementar una quinta sección de "control de calidad". Se implementó con controlador adaptativo en la dosificación, el cual tiene un error de 0.02 litros en el llenado de botellas. Finalmente, se obtuvo que la planta simulada tiene la capacidad de producir 36360 botellas por mes.

**Palabras clave**—Llenado de botellas, Línea de producción, Simulación, Tia portal, Factory IO, Ladder.

**Línea de investigación:** Crecimiento equitativo, desarrollo inclusivo, emprendimiento y productividad; Automatización y Robótica: Incluyendo el estudio de vehículos autónomos no tripulados aéreos, terrestres u otros, la aplicación de técnicas de mapeo y localización, sistema operativo para robots, simulación de agentes robóticos en distintos entornos.

## I. INTRODUCCIÓN

Las industrias enfocadas en la producción de bebidas conforman un porcentaje importante del PIB industrial boliviano. Siles [1] analizó la estructura económica de 2018, en donde, podemos ver que las industrias enfocadas a bebidas y tabaco forman parte del 31.7% del PIB en La Paz. Estos datos se pueden observar en la imagen [1] obtenida de su libro "La industria en cifras por departamentos".

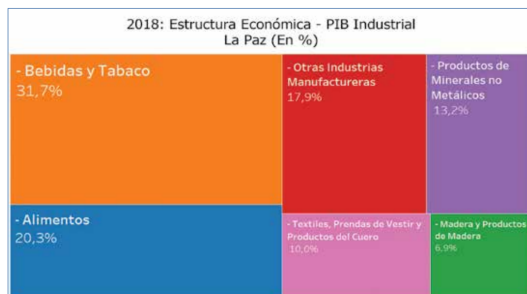


Figura 1. PIB industrial: La Paz [1].

Este trabajo fue entregado para su revisión en fecha 18 de Marzo de 2022. El autor declara que el trabajo es de su completa autoría y referencia adecuadamente otros trabajos.

Si bien el porcentaje puede variar por departamento, la industria de bebidas siempre conforma un porcentaje importante en la economía de Bolivia.

Debido a la importancia de la industria de bebidas, en este proyecto se ha desarrollado una línea de producción orientada a este sector. El proyecto no se enfocará a ninguna bebida en específico, y puede ser utilizada tanto para bebidas alcohólicas, refrescos, agua o productos lácteos.

Entonces, para que el proyecto sea generalizable contemplará principalmente las secciones de dosificación, sellado, etiquetado y empaquetado. Todas las secciones desarrolladas en base a herramientas de simulación.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo General

Desarrollar una línea de producción simulada para una industria dedicada al llenado de botellas.

### B. Objetivos Específicos

- Desarrollar la programación en TIA PORTAL.
- Aplicar un controlador al sistema dosificador de líquido.
- Implementar un sistema de visualización por HMI.
- Diseñar la línea de producción en Factory IO.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Componentes de la planta

Para la simulación de la planta embotelladora se utilizó el software enfocado a la simulación 3D de procesos industriales llamado "Factory IO" [2] y "PLCSIM", el simulador de PLC's integrado de TIA PORTAL. En la Tabla [3] y [4] se muestran los sensores y actuadores utilizados respectivamente.

Tabla I

Sensor	Objetivo	Dirección
Barrera	Dosificador: Contador botellas	I10.0
Barrera	Dosificador: Barrera de botellas (Trigger)	I10.6
Barrera	Dosificador: llenado de botella (Trigger)	I10.2
Barrera	Dosificador: sellado de botella (Trigger)	I10.3
Nivel	Dosificador: Nivel del tanque	ID30
Barrera	Etiquetado: Trigger	I10.4
Difuso	Control de calidad: Trigger	I10.5
Difuso	Paletizadora: Barrera de cajas (Trigger)	I10.7
Barrera	Paletizadora: Contador de botellas	I10.1
Difuso	Paletizadora: Contador de Cajas	I11.0

Tabla II

Actuador	Objetivo	Dirección
Cilindro electroneumatico	Dosificador: Barrera botellas	Q12.3
Motor AC	Dosificador: Cinta Transportadora	Q12.0
Cilindro electroneumatico	Dosificador: Brazo	Q11.0
electrovalvula	Dosificador: Válvula de descarga	QD30
electrovalvula	Dosificador: Válvula de carga	QD34
Cilindro electroneumatico	Selladora: Brazo	Q11.1
Motor AC	Selladora: Cinta Transportadora	Q12.1
Motor AC	Etiquetado: Roller	Q11.4
LED indicador	Etiquetado: LED inactivo	Q11.6
LED indicador	Etiquetado: LED activo	Q11.7
Cilindro electroneumatico	Control de calidad: empuje	Q12.2
Cilindro electroneumatico	Paletizadora: Barrera Cajas	Q12.5
Cilindro electroneumatico	Paletizadora: Empuje	Q10.2
Cilindro electroneumatico	Paletizadora: Abrazadera	Q10.3
Cilindro electroneumatico	Paletizadora: Puerta	Q10.4
Motor AC (+/-)	Paletizadora: Subir elevador	Q10.5
	Paletizadora: Bajar elevador	Q10.6
Motor AC	Paletizadora: Cinta transportadora	Q10.7
Motor AC	Cinta transportadora 1, 2, 5	QD38
Motor AC	Cinta transportadora 3, 4, 6	Q12.6

Explicando los sensores de la tabla II. Se considero que las botellas pueden tener un material transparente, por lo que se investigó el sensor más adecuado para la detección este tipo de materiales. Según [3], los sensores de barrera por reflexión mostraron una alta eficiencia en la implementación para detectar objetos transparentes.

Por otro lado, según [4] los sensores difusos demuestran gran precisión para detectar cajas y errores en estas, por lo que se utilizan para el control de calidad y detección de cajas paletizadoras. Finalmente, la tabla de actuadores, se obtuvo de la documentación de Factory IO [5].

### B. Llegada de botellas

Para la estación de dosificación se consideró que no se tendrá un control sobre la llegada de las botellas a la planta, es decir, la llegada puede ser más rápida que el tiempo de proceso de las estaciones. Entonces, es necesario implementar una cola que contenga las botellas mientras la siguiente estación está ocupada.

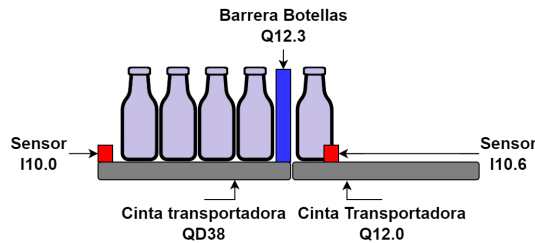


Figura 2. Diagrama: cola.

Solo se debe dejar pasar una botella a la vez, por lo que se adiciono una barrera que bloquea el paso a las demás botellas, como se observa en la figura 2. Esta barrera Q12.3 se cierra cuando el sensor I10.6 detecta que la botella ya se encuentra en la otra cinta transportadora. Asimismo, es necesario aclarar

que la cinta transportadora QD38 es más lenta que la cinta Q12.0, de este modo se creara un espacio entre botellas para que la barrera pueda cerrarse. La disminución de velocidad en la cinta QD38 requirió que se utilice una variable tipo REAL en vez de una booleana.

Finalmente, se configuro el sensor I10.0 y I10.6 como triggers para COUNTERs UP en el PLC. De la diferencia de ambos contadores se obtuvo la cantidad de botellas en cola.

### C. Dosificador de líquido

El sistema dosificador se compone de un tanque para almacenar el líquido, con el cual, se dosificará las botellas a través de un cilindro.

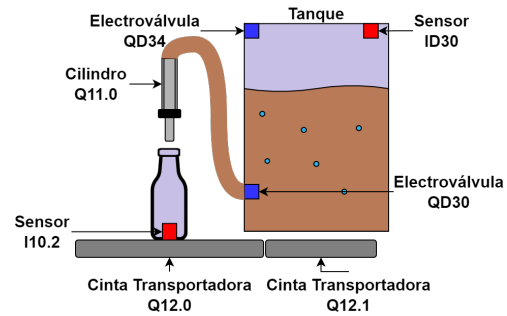


Figura 3. Dosificador de líquido.

De manera detallada y tomando de referencia la figura 3, la cinta transportadora Q12.0 se detiene cuando el sensor I10.2 detecta una botella. Luego, el cilindro Q11.0 se extiende hacia la botella y se activa la electroválvula QD30. Por otro lado, el tanque se llena completamente al iniciar la simulación con la electroválvula QD34.

La dosificación es regulada por un controlador que toma como entrada la lectura del sensor de nivel ID30. Inicialmente este controlador fue planificado como un PID, el cual, ya tiene integrado en TIA PORTAL una función para su uso. Sin embargo, en el desarrollo se obtuvo problemas ocasionados por una mala instalación de paquetes. Debido a esto se desarrolló un controlador adaptativo según la siguiente lógica:

$$apertura = \begin{cases} diferencia > 10,0 \text{ lts} & 10,0 \\ 10,0 \text{ lts} > diferencia > 5,0 \text{ lts} & 3,0 \\ 5,0 \text{ lts} > diferencia > tolerancia & \frac{diferencia}{2} \\ tolerancia > diferencia & 0,0 \end{cases} \quad (1)$$

En donde, *apertura* es el voltaje encargado de controlar la apertura de la válvula de salida. *diferencia* se refiere a la diferencia en litros entre el setpoint y el nivel actual del tanque. Y *tolerancia* es el error aceptable en el llenado. Cabe aclarar que el voltaje de apertura de la válvula tiene un rango de 0 a 10 voltios, siendo 10 totalmente abierto.

Respecto al simulador Factory IO, este cuenta con un tanque que contiene un medidor de nivel integrado, el cual, tiene como límite una altura de 300 cm. Esta altura puede ser despreciada, normalizando el valor del sensor de nivel para considerar cualquier otra altura. No obstante, se mantuvo el valor de 300 cm con el objetivo de que la simulación en TIA Portal y Factory IO coincidan en el mismo valor. Asimismo, para facilitar el posterior análisis de resultados, se tomó en cuenta que cada centímetro del tanque es equivalente a un litro de líquido.

#### D. Sellado

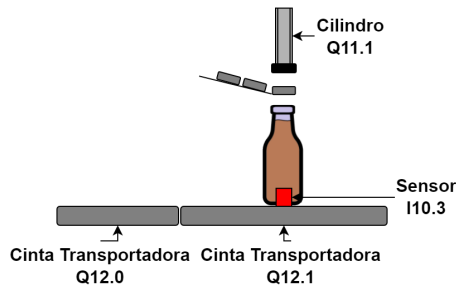


Figura 4. Sellado de botellas.

La lógica para el sellado de botellas es similar a la de dosificación. En la figura 4, la cinta transportadora Q12.1 se detiene cuando el sensor I10.3 detecta una botella. Inmediatamente, el cilindro Q11.1 se extiende hacia la botella presionando la tapa y sellando la botella en consecuencia.

#### E. Etiquetado

La sección está basada en la etiquetadora lineal “EL-B 8000” y en su documentación [6]. La etiquetadora está compuesta de un rollo de etiquetas. Un roller desenrolla y corta una etiqueta cada vez que una botella pasa por la sección.

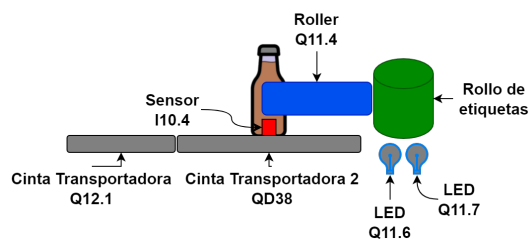


Figura 5. Etiquetado de botellas.

Explicando el diagrama de la figura 5 se colocó el sensor I10.4 para que detecte la llegada de las botellas. En ese instante, se activa el roller Q11.4 y el LED Q11.7. El LED es un indicador de que el roller fue activado, ya que, en la simulación no se aprecia bien su movimiento. Asimismo, se adiciono el LED Q11.6, que indica que la sección de etiquetado está encendida y en estado inactivo.

#### F. Control de calidad

Se diseñó un control de calidad, debido a que en el programa de Factory IO no se tienen botellas como elementos para la simulación. En consecuencia, se utilizó cajas alargadas como sustituto de las botellas en el simulador. No obstante, las cajas tienen una base rectangular por lo que su uso requiere que se controle su posición para que luego la máquina paletizadora pueda organizarlas correctamente.

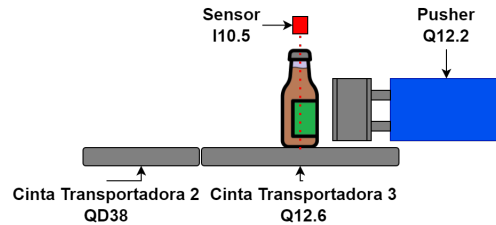


Figura 6. Control de calidad.

Esta estación cuenta con el sensor I10.5, y su activación indica la detección de una caja mal posicionada, como se observa en la figura 7. Cabe aclarar que el sensor está en una ubicación elevada, de modo que no obstruya el paso a las cajas, como se observa en la figura 6. Por otro lado, el pusher Q12.2 se despliega rápidamente en el instante que se detecta una caja en mala posición, expulsándola de la línea de producción.

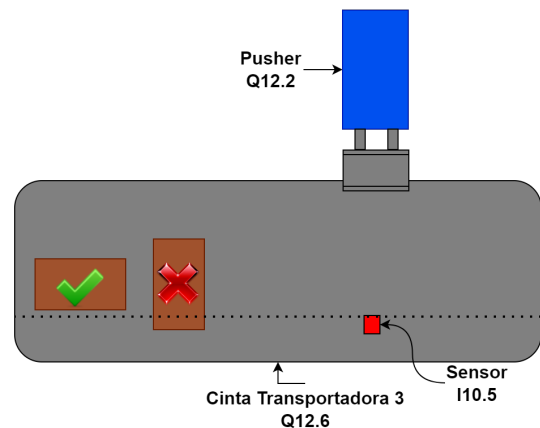


Figura 7. Vista Superior: Control de calidad.

#### G. Paletizadora

Las máquinas paletizadoras tienen el objetivo de organizar el producto en cajas para su futura distribución y venta, en este caso el producto son botellas. La paletizadora de Factory IO tiene una capacidad de organizar 6 unidades por caja. En la figura 8 se muestra los elementos que componen la paletizadora.

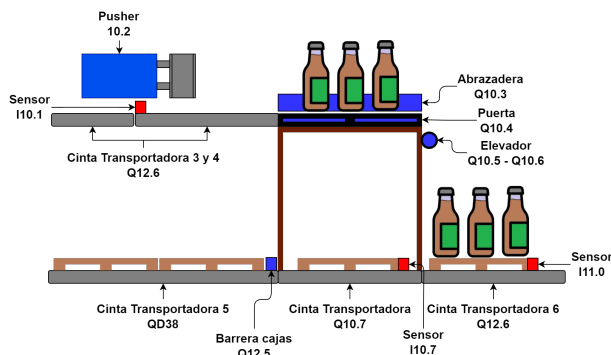


Figura 8. Paletizadora.

Esta sección se divide en 3 procesos: Organizar botellas, cola de cajas y cambio de cajas. Explicándolo de manera ordenada:

### 1. Organizar botellas:

Inicia con el sensor I10.1 que funciona como trigger para un COUNTER UP, el cual, indica la cantidad de botellas producidas. Sabiendo que las cajas tienen espacio para 2 filas, con 3 botellas por fila. Se configuró el pusher Q10.2 para ser activado cuando el valor del COUNTER UP sea múltiplo de 3. Asimismo, cuando el contador obtenga un valor múltiplo de 6 significara que la caja paletizadora esta completa y hay que cambiar de caja.

### 2. Cola de cajas:

La llegada de cajas en la parte inferior de la paletizadora es más rápida que su tiempo de ciclo. En consecuencia, también es necesaria la implementación de una cola que contenga las cajas mientras la paletizadora está ocupada.

La barrera Q12.5 se cierra cuando el sensor I10.7 detecta una caja. Similar a la llegada de botellas, en este caso también se necesita un espacio para que la barrera pueda cerrarse, por lo que la cinta transportadora QD38 es más lenta que la cinta Q10.7.

### 3. cambio de cajas:

Cuando el sensor I10.7 detecta una caja, el elevador sube con la señal Q10.5. Al momento en que el valor del contador de botellas sea múltiplo de 6 se envía la señal a Q10.4, para abrir la puerta inferior y que las botellas descendan a la caja paletizadora. Este descenso tiende a desorganizar las cajas, por la fricción que provoca la puerta inferior al abrirse, por lo que también se activa la abrazadera con Q10.3 para mantener el orden.

Se configuro un TIMER para que espere 1 segundo a que las botellas se acomoden en la caja paletizadora. Luego, el elevador descende con la señal Q10.6. Otro TIMER espera 2 segundos, que es el tiempo que tarda el elevador en bajar. Seguidamente, se envía la señal a la barrera Q12.5 para que se abra y se activa la cinta

transportadora Q10.7. El sensor I10.7 espera una señal en sentido RISING para iniciar de nuevo el proceso. Finalmente, el sensor I11.0 es un trigger para un contador de cajas.

## H. Inicio, parada y pausas

Para una simulación más cercana a la realidad, se implementó un botón de inicio. De este modo, la planta no iniciara su producción hasta que el operador se lo indique. Asimismo, se implementó botones de parada y pausa. La diferencia entre estos dos últimos botones radica en que la parada resetea los valores de contadores, mientras que la pausa mantiene todos los datos.

Por lo que asumiendo un escenario en donde se requiere capturar los datos diariamente, se tendría que presionar el botón de parada al finalizar la jornada laboral. Sin embargo, si es necesario detener la planta antes se tendría que presionar el botón de pausa.

## IV. RESULTADOS

### A. Dosificador de líquido

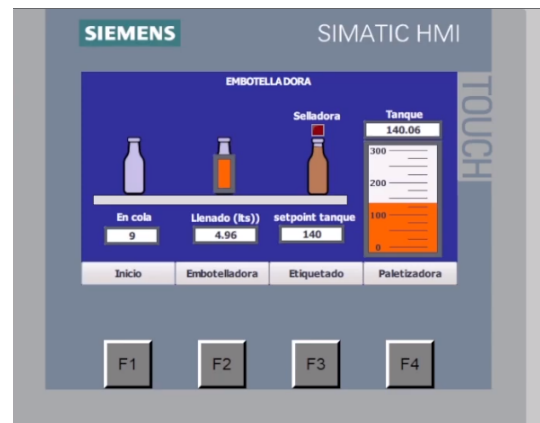


Figura 9. HMI: Dosificador.

En la figura 9 se puede observar el HMI diseñado para esta sección. En la simulación de la planta se observó que la cola tiene un límite de 9 botellas. Asimismo, se obtuvo de manera empírica, que la cinta QD38 debe ser por lo menos 33 % más lenta que la cinta Q12.0.

Respecto a la dosificación, se configuro que cada botella tiene una capacidad de 5 lts. Con el controlador desarrollado, configuro una tolerancia de 0.1 lts. En la simulación, se observó que llenado aproximado fue de 4.92 litros. Dando un error de 0.02 lts para el controlador y una diferencia de 0.08 para el setpoint.

El tiempo de llenado obtenido fue aproximadamente de 10 segundos, el tiempo de cambio de botella fue de 4 segundos y el tiempo de sellado fue de 1 segundo. Dando una producción

de 4 botellas por minuto. Con esto, se calculó el tiempo que duraría el tanque de 300 lts.

$$Total\ botellas = \frac{capacidad\ tanque}{capacidad\ botellas} \quad (2)$$

$$Total\ botellas = \frac{300}{5} = 60\ unidades$$

$$Duración\ del\ Tanque = Total\ botellas * Tiempo\ por\ unidad \quad (3)$$

$$Duración\ del\ Tanque = 60\ unidades * 15 \frac{seg}{unidad} * \frac{1\ min}{60\ seg}$$

$$Duración\ del\ Tanque = 15\ minutos$$

El resultado obtenido fue de 15 minutos por tanque. Por lo que se calculó la capacidad del tanque necesaria para obtener una duración de una jornada laboral de 8 horas.

Despejando de la ecuación 3:

$$Total\ botellas = \frac{Duración\ del\ Tanque}{Tiempo\ por\ unidad} \quad (4)$$

$$Total\ botellas = \frac{8\ hr}{15 \frac{seg}{unidad} * \frac{1\ hr}{3600\ seg}}$$

$$Total\ botellas = 1920\ unidades$$

Despejando de la ecuación 2:

$$capacidad\ tanque = Total\ botellas * capacidad\ botellas \quad (5)$$

$$capacidad\ tanque = 1920 * 5\ lts$$

$$capacidad\ tanque = 9600\ lts$$

La capacidad del tanque para abastecer a la línea de producción durante 8 horas seguidas es de 9600 lts. Por lo que se sugiere el uso del tanque BBTVI-10000C de la marca CZECH [7], que cuenta con 10000 litros de capacidad.

#### B. Etiquetadora y control de calidad

La figura 10 muestra el HMI diseñado para estas secciones. Se asignó un límite de 300 unidades a la cantidad de etiquetas contenidas en un rollo. Tomando en cuenta de que la producción es de 1 botella cada 15 segundos, se calculó la duración de cada rollo.

$$Duración\ rollo = Total\ etiquetas * Tiempo\ por\ unidad \quad (6)$$

$$Duración\ rollo = 300 * 15 \frac{seg}{unidad} * \frac{1\ hr}{3600\ seg}$$

$$Duración\ rollo = 1,25\ hr$$

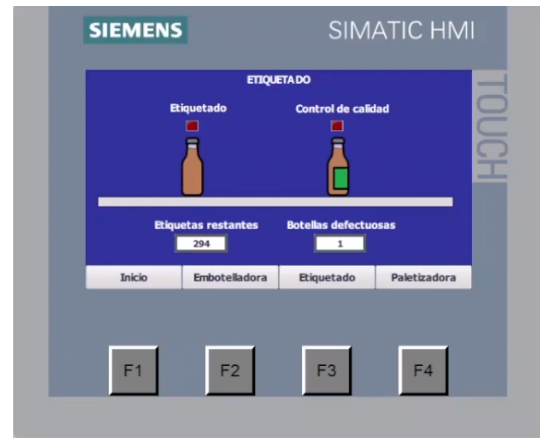


Figura 10. HMI: Etiquetado.

Entonces, se calculó la cantidad de rollos necesarios para cumplir la jornada laboral mencionada anteriormente de 8 horas.

$$Total\ rollos = \frac{Duración\ jornada}{Duración\ rollo} \quad (7)$$

$$Total\ rollos = \frac{8\ hr}{1,25\ hr} = 6,4 \approx 7\ rollos$$

Del cálculo se obtuvo que se necesitarían 7 rollos, de 300 etiquetas cada uno, para un rendimiento de 8 horas.

Respecto al control de calidad, se observó que las fallas en la posición de las botellas (cajas en Factory IO) son impredecibles y con baja frecuencia. Por lo que se considera como una buena representación de errores en una planta de producción.

#### C. Paletizadora

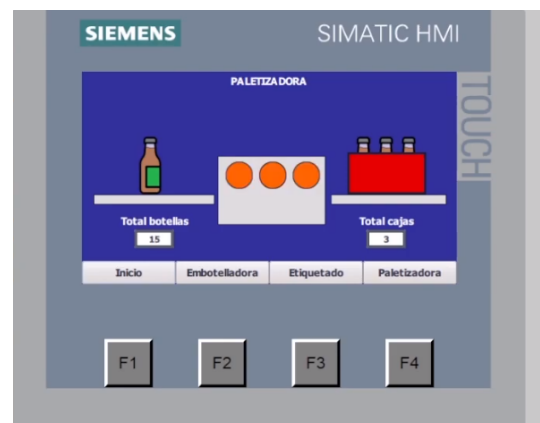


Figura 11. HMI: Paletizadora.

La pantalla HMI de la paletizadora se observa en la figura 11. En las pruebas, la máquina paletizadora de Factory IO forzó el uso de cajas con base rectangular como remplazo



a las botellas. El programa tiene disponible cajas con base cuadrada como elementos, lo que aumenta la capacidad de la paletizadora a 9 unidades en lugar de 6. Sin embargo, se encontró un problema con el simulador en el momento en que la paletizadora empuja 3 botellas para organizarlas, si las botellas tienen poca longitud en el sentido de empuje, se desestabilizarán y caerán en consecuencia.

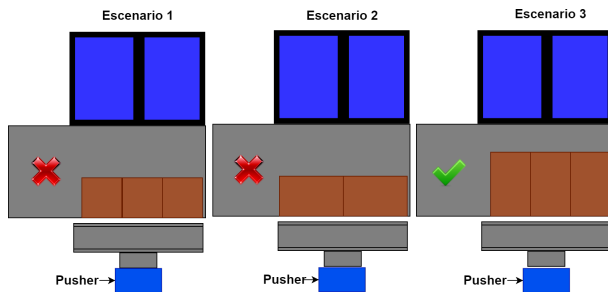


Figura 12. Posicionamiento de cajas

Este problema es algo que se solucionaría nivelando la estructura o disminuyendo la velocidad de empuje del pusher Q10.2. No obstante, el programa no permite modificar ni adicionar ningún elemento, así como no permite variar la velocidad del pusher integrado en la paletizadora. Por lo que, se vio necesario el uso de las cajas con base rectangular organizadas en el sentido que se indica en la figura 12.

Por otro lado, a pesar de que la paletizadora tiene bastantes sensores y actuadores incluidos. No existen sensores que indiquen la posición del elevador, por lo que se utilizó TIMER's para controlar el orden de funcionamiento de este.

Respecto a la cola de cajas en la parte inferior de la paletizadora, la cinta transportadora QD38 debe ser mínimo 33 % más lenta que la cinta Q10.7 para que la barrera pueda cerrarse sin obstrucciones, similar a la cola de botellas.

Finalmente, debido a que no existen paradas después de la dosificación, una vez que se estabiliza la producción su valor se mantiene en 1 botella cada 15 segundos a la entrada de la paletizadora. De igual forma, la paletizadora tarda 5 segundos aproximadamente en empaquetar y mover la caja a la línea de salida. Por lo que, se calculó el tiempo de producción por caja.

$$Tiempo\ por\ caja = Unidades\ por\ caja * Tiempo\ por\ unidad + Tiempo\ empaquetado$$

$$Tiempo\ por\ caja = 6 * 15\ seg + 5\ seg = 95\ seg$$

Con este dato y similar a las anteriores secciones, se calculó la cantidad de cajas obtenidas en 8 horas de producción continua.

$$Total\ cajas = \frac{Duración\ jornada}{Tiempo\ por\ caja} \quad (8)$$

$$Total\ cajas = \frac{8\ hr}{95\ seg * \frac{1hr}{3600\ seg}} \approx 303\ cajas$$

Como resultado se obtuvo que se producirán 303 cajas diarias con la línea de producción diseñada. Esto es equivalente a 36360 botellas por mes de 20 días laborales. Este valor se puede incrementar aumentando más máquinas dosificadoras o una máquina que pueda dosificar varias botellas en paralelo, ya que en esta sección se encuentra el cuello de botella.

#### D. Inicio, paradas y pausas

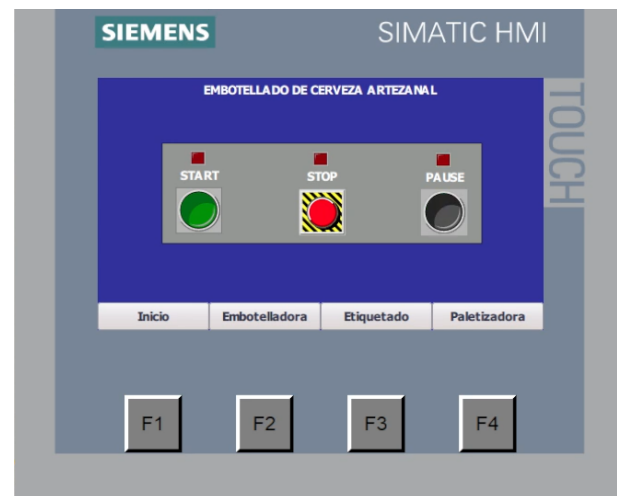


Figura 13. HMI: inicio.

Debido a que se configuró el botón START para que habilite todos los demás bloques de programación Ladder, así como, se configuró el botón STOP para que desactive el botón START y resetee los valores de los contadores. Se obtuvo un error particular, causado por que en TIA PORTAL no es posible resetear el valor de un contador si su bloque de programación está desactivado. Entonces, el botón de STOP detiene las cintas transportadoras, pero no desactiva START. De esta forma es capaz de resetear los contadores. Por parte del botón PAUSE, este sí desactiva START, ya que no debe cambiar ningún valor.

#### V. RECOMENDACIONES

Para proyectos similares, se recomienda que la dosificación de líquido sea regulada con un controlador PID, debido a que es más robusto y modificable. Incluso la implementación de un PID en TIA PORTAL es más sencilla ya que cuenta una función implementada que incluye un wizard que autoconfigura los parámetros del controlador.

Por otro lado, se recomienda el uso de un simulador que trabaje junto con PLCSIM, como Factory IO. Esta unión de simuladores es ideal, dado que PLCSIM solo simula el PLC, la

escritura y lectura de variables con sus diferentes direcciones de memoria. Y Factory IO simula la parte física, permitiendo visualizar que pasaría si se activa cada uno de los actuadores y como esto afecta a los sensores, dando como resultado una simulación más realista.

## VI. CONCLUSIONES

En conclusión, se desarrolló una línea de producción simulada para una industria de llenado de botellas, que contempla secciones de cola, dosificación, sellado, etiquetado, control de calidad y empaquetado. La programación se realizó en TIA PORTAL y con lenguaje LADDER, utilizando bloques tipo FC, FB, OB y DB. Por parte del controlador, se obtuvo problemas con la función del controlador PID integrado en TIA PORTAL, por lo que se aplicó un controlador adaptativo siguiendo la lógica de la ecuación  $\frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$ . Se implementó un sistema de visualización de la planta con el HMI, en el cual se pueden observar los datos más relevantes de cada estación. Finalmente, se diseñó la planta con los componentes disponibles en el simulador Factory IO, con el cual, se obtuvo una simulación más realista pero no perfecta.

## APÉNDICES

La carpeta del proyecto de TIA PORTAL, el archivo del escenario de Factory IO, y vídeos de la simulación del proyecto se encuentran en el siguiente repositorio de Github: <https://github.com/WilberRojas/beverage-production-line>

## REFERENCIAS

- [1] H. Siles, "La industria en cifras por departamentos, 1994 a 2018," Disponible en: [https://www.cnibolivia.com/publ/291\\_bolivia-la-industria-en-cifras-por-departamentos-1.pdf](https://www.cnibolivia.com/publ/291_bolivia-la-industria-en-cifras-por-departamentos-1.pdf).
- [2] Real Games, "Factory i/o: Next-gen plc training," Disponible en: <https://factoryio.com/>.
- [3] Pepperl+Fuchs, "Detección fiable de botellas transparentes," Disponible en: <https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/35529.htm>.
- [4] elion, "Detección de solapa abierta o mal sellada en cajas de cartón," Disponible en: <https://www.elion.es/aplicaciones/deteccion-de-solapa-abierta-o-mal-sellada-en-cajas-de>.
- [5] Real Games, "Factory i/o documentation," Disponible en: <https://docs.factoryio.com/manual/parts/>.
- [6] MANOMEC, "Etiquetadora Lineal: EL-B 8000," Disponible en: <http://cormaq.com.bo/industria/productos/etiquetadora-lineal/>.
- [7] CZECH, "Tanque de presión cilíndrico BBTVI-10000C para almacenamiento y acondicionamiento," Disponible en: <https://eshop.czechminibreweries.com/es/product/bop-5004a-30000/>.



**Wilber Álvaro Rojas Fernández**  
Ingeniero Mecatrónico