

AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE LLENADO DE JUGO EN LA PLANTA
PROLECA CARTAGENA

ADRIÁN MAURICIO RODRÍGUEZ AMAYA
RAFAEL ANTONIO DOMINGUEZ ARRIETA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESP. EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES
CARTAGENA
2016

ADRIÁN MAURICIO RODRÍGUEZ AMAYA
RAFAEL ANTONIO DOMINGUEZ ARRIETA

MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS
INDUSTRIALES

JORGE ELIECER DUQUE PARDO
MAGÍSTER EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESP. EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES
CARTAGENA
2016

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena, 8 de Julio de 2016

A Dios por todas sus bendiciones, a mi madre, a mi padre que desde el cielo me cuida y a mis hermanos por su respaldo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por su infinita misericordia, por guiar cada uno de mis pasos. De manera muy especial le agradezco a mi mamá y a mi papá por forjar mis valores, que me han permitido llegar tan lejos como he querido. A mi hermano Derian, gracias a él todo empezó; en general a todos mis hermanos por enseñarme cada día a ser mejor y enseñarme que con esfuerzo se pueden alcanzar todos los sueños.

- Adrián M. Rodríguez Amaya

Le doy gracias a primeramente a Dios por permitirme estar con vida y mostrarme el camino a seguir y a mi familia que siempre me ha brindado su apoyo incondicional.

- Rafael A. Domínguez Arrieta

CONTENIDO

	PÁG
GLOSARIO.....	9
RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	5
DELIMITACIÓN.....	5
SISTEMAS DE ENVASADO DE JUGO	6
DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	8
FACTIBILIDAD TÉCNICA	9
FACTIBILIDAD ECONÓMICA	16
FILOSOFÍA DE CONTROL.....	19
ARQUITECTURA DE CONTROL.....	20
DIAGRAMA DE CONTROL.....	21
PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	22
MAIN PROGRAM	23
ASIGNACIÓN DE LOS CONTACTOS DE ENTRADA/SALIDA A MARCAS	24
RUTINA DE LLENADO.....	28
RUTINA DE ROSCADO	33
PILOTOS DE INDICACIÓN	35
RESULTADOS	36
POSIBLES TRABAJOS FUTUROS	37
CONCLUSIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones técnicas compresor de aire	14
Tabla 2. Utilidades situación actual.....	16
Tabla 3. Costos Inversión	17
Tabla 4. Utilidades proyectadas con el sistema de automatización.....	18
Tabla 5. TAG's de programación en el PLC.....	22

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1. Sistema típico de llenado.	6
Ilustración 2. Esquema para el diseño de la automatización.	8
Ilustración 3. Banda transportadora ajustada para la aplicación.	9
Ilustración 4. Cilindro compacto ADN-12-80-I-P-A.	10
Ilustración 5. Cilindro DSBC-40-200-PPVA-N3.	11
Ilustración 6. Boquilla de llenado - Nozzle.	11
Ilustración 7. Válvula V5221-08.	12
Ilustración 8. Sensor de proximidad.	12
Ilustración 9. Accucapper LD para roscado de tapas.	13
Ilustración 10. CPU 1214C.	15
Ilustración 11. Arquitectura de control.	20
Ilustración 12. Diagrama de conexión E/S.	21

GLOSARIO

CC: Centímetros Cúbicos

NOZZLE: Boquillas de llenado

PLC: Controlador Lógico Programable

PROLECA: Procesadores De Leche Del Caribe

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realiza el diseño de una automatización que permita optimizar el sistema de llenado de jugo de la planta de PROLECA en Cartagena. Para lo cual se realiza la programación de la lógica de control en el PLC SIEMENS S7-1200 con la finalidad de mejorar la producción de la planta reduciendo los tiempos y costos de operación. De igual forma, se dimensionará la instrumentación necesaria para garantizar la correcta operación de la planta de llenado.

Palabras clave: Automatización, llenado, roscado, programación.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia de los procesos juega un papel muy importante en la economía de una empresa; por lo cual es deseable que algunos procesos sean intervenidos para analizar la posibilidad de apoyarse en la tecnología para lograr alcanzar mejores estándares y ser más competentes en el mercado. Algunas pequeñas empresas con limitación económica para invertir en la mejora de sus procesos, se ven en la obligación de utilizar tareas manuales en los procesos, lo cual, hoy en día además de ser ineficiente está totalmente por fuera de las necesidades de un mercado que necesita grandes cantidades de cierto producto; a causa de esto las empresas pierden competitividad frente a sus homólogos en el mercado.

Las opciones para mejorar la eficiencia en sus procesos son muchas, desde adquirir una máquina con especificaciones particulares de acuerdo a la necesidad hasta realizar el diseño de una automatización que se acomode a las necesidades del cliente.

La automatización de procesos industriales permite apoyarse en diferentes ramas de la ingeniería para alcanzar un objetivo específico, tales como la instrumentación, neumática, hidráulica, PLC's, etc. Todo esto, contribuye a ahorrar esfuerzos físicos al momento de realizar tareas repetitivas, garantizando que la planta opere automáticamente con la mínima intervención humana.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una automatización que permita realizar el llenado del jugo en envases de 286cc en la planta de Proleca en Cartagena, mejorando la eficiencia y garantizando que la planta opere automáticamente con poca intervención.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dimensionar la instrumentación adecuada para realizar el diseño de la automatización, minimizando costos para el cliente.

Diseñar la arquitectura de control para el proceso de llenado de jugo.

Programar la lógica de control en el PLC que permita mejorar la producción de la planta actual.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la planta de Proleca cuenta con un sistema precario de llenado de jugo, el proceso lo realiza un operador de manera manual, a causa de dicha operación se desecha parte del producto y en adición los tiempos y costos de operación no son los óptimos.

JUSTIFICACIÓN

Debido al crecimiento exponencial del mercado, resulta determinante que la operación de las empresas se realice con la mayor eficiencia y el menor costo posible; la ineficiencia a causa de la operación manual disminuye la producción y por ende los dividendos de la empresa. La automatización de la línea de llenado de jugo de la planta de Proleca, Cartagena, tiene como premisa fundamental la optimización del proceso de llenado del jugo en cuestión, haciendo mejor uso del capital humano además de aumentar la cantidad de producto listo para su distribución; estimando una cantidad de 2000 unidades llenas del producto por día.

DELIMITACIÓN

El diseño de la automatización incluye solamente el llenado y roscado de envases de jugo 286cc, quedando por fuera del diseño la fijación de etiquetas, ya que el cliente posee una unidad recientemente adquirida.

SISTEMAS DE ENVASADO DE JUGO

Las sistemas de envasado están compuesto por cinco etapas principalmente, iniciando con el acople de envases, siguiendo con la etapa de llenado, luego con el roscado, posteriormente con el etiquetado y finalizando con el embalaje del producto final; este esquema se presenta en la Ilustración 1.

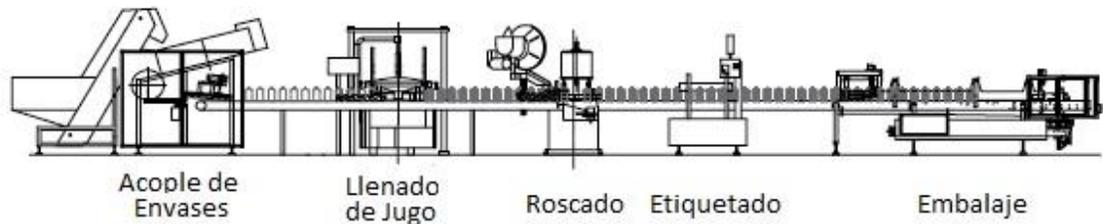


Ilustración 1. Sistema típico de llenado. ¹

Los sistemas de acople de botellas en general son sistemas automáticos, con velocidad variable de acuerdo a la necesidad; en esta etapa, el sistema recibe las botellas amontonadas, luego las organiza, las procesa y las coloca en la posición correcta para el llenado, moviéndolas a través de una banda transportadora hacia la siguiente etapa.

La segunda etapa está relacionada directamente con el llenado del producto, existen distintas tecnologías para las máquinas de llenado dependiendo de la aplicación, y se encuentran limitadas por las características del envase, el tamaño, la cantidad de producto, entre otros. El método más utilizado es el de llenado por gravedad, donde por medio de unas boquillas que al entrar en contacto con una superficie permiten el llenado del producto, no permitiendo reboses por su diseño.

La etapa de roscado está básicamente compuesta por una herramienta que puede ser eléctrica o neumática que garantiza un torque en su extremo, con posibilidades que este sea regulable o no. Dicha herramienta también puede ser operada manualmente, pero desaprovechando las ventajas que ofrece un sistema automático.

En la etapa de etiquetado, a cada botella se le aplica una etiqueta previamente diseñada ya sea sobre vidrio, plástico o envases de aluminio. Las etiquetas son

¹ Tomado de: www.dtmpackaging.com

colocadas alrededor de la botella, asistidas por una salida de aire que garantiza la consistencia de la etiqueta aplicada.

Los sistemas de embalaje forman parte esencial del empaquetado secundario del producto, este ofrece tres distintas operaciones: embalaje simple, empaquetado/llenado y sellado. Cada una de estas operaciones se puede realizar individualmente. Alternativamente, dos o tres de esas operaciones pueden ser integradas en una sola máquina.

DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN

Este proyecto está enfocado principalmente en dos etapas del sistema convencional, la etapa de llenado y la etapa de roscado; la etapa de etiquetado no es incluida en este diseño debido a que el cliente adquirió una maquina recientemente.

El sistema está compuesto por un cilindro de detención y un sensor a la entrada de la etapa de llenado, un cilindro que se encarga de subir/bajar la estructura donde se encuentran las boquillas instaladas y adicionalmente otro cilindro de detención al igual que otro sensor. Al inicio de la etapa de roscado se encuentra otro sensor que se será encargado de verificar que se encuentra un envase listo para el roscado, también se encuentra un cilindro de detención y otro encargado de subir o bajar la herramienta de roscado. Ver Ilustración 2.

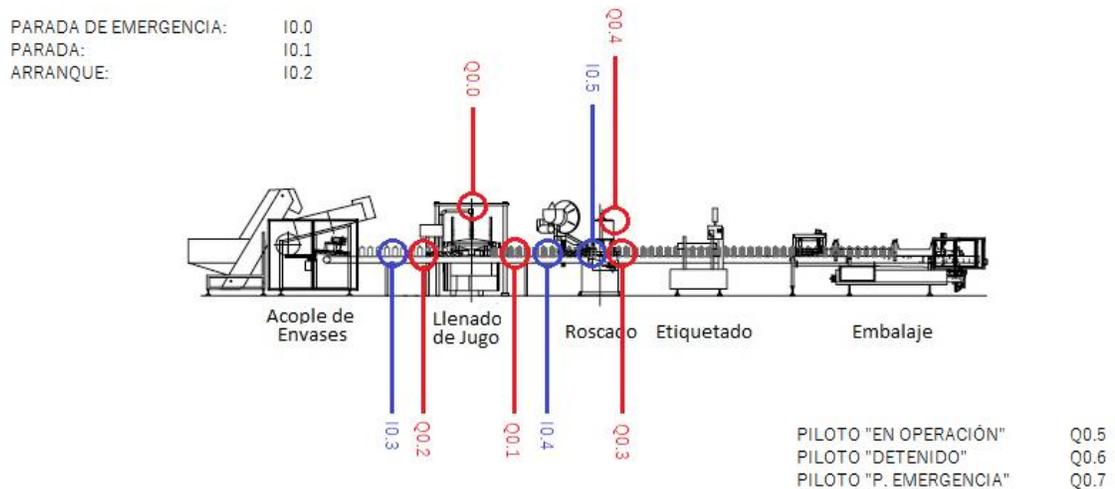


Ilustración 2. Esquema para el diseño de la automatización.

La alternativa propuesta para mejorar el rendimiento de la planta de llenado es seleccionar una nueva instrumentación y todo su esquema de control, incluyendo el PLC y demás. Para lo cual se hace necesario dimensionar los instrumentos de acuerdo a la necesidad presente; dicha selección se realiza en los siguientes ítems.

FACTIBILIDAD TÉCNICA

Dentro de unos de los principales elementos a utilizar se encuentra la banda transportadora; esta, se debe ajustar a las necesidades específicas de la aplicación. Durante la selección se destacaron muchos tipos de bandas transportadoras, sin embargo la que más se ajustó es la que se presenta en la Ilustración 3.

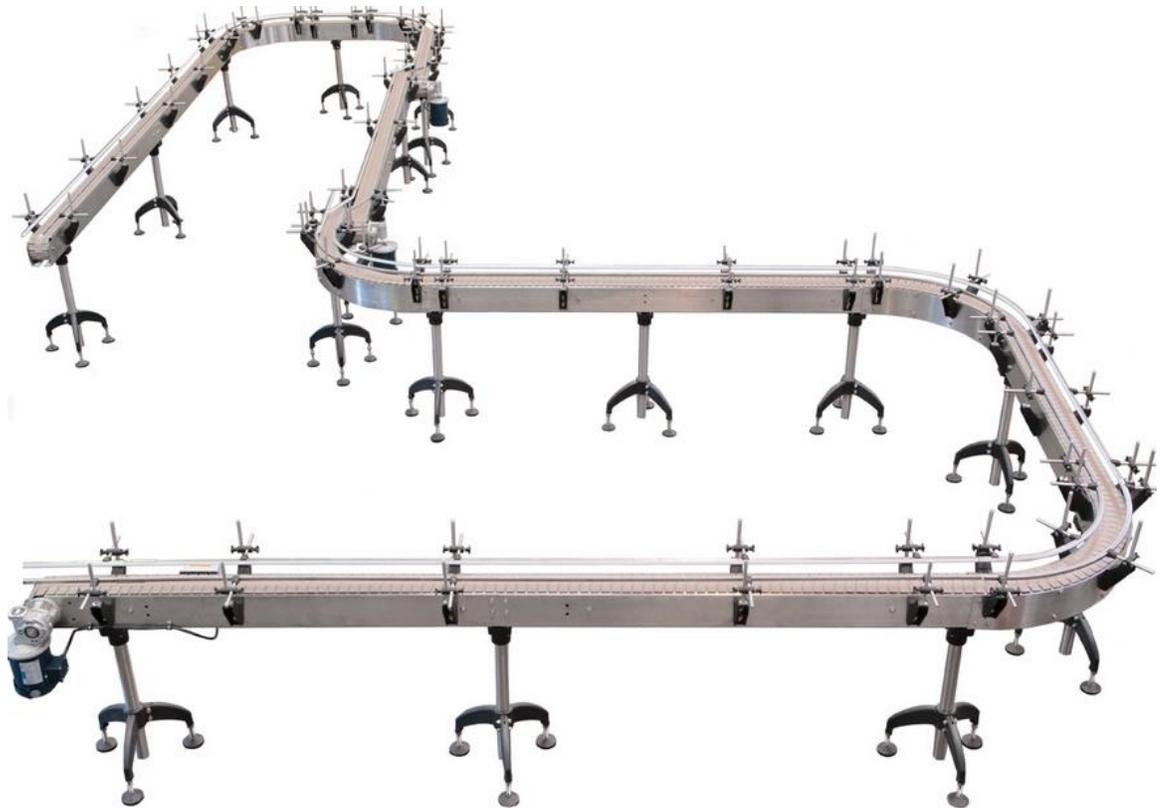


Ilustración 3. Banda transportadora ajustada para la aplicación.²

Este tipo de banda permite instalación en línea recta o curvada, está construida en acero inoxidable 304, adecuada para la industria de alimentos y bebidas; posee control de velocidad y la altura es ajustable de acuerdo a las necesidades de la aplicación. Adicional a esto, el fabricante ofrece una solución para cada diseño, especificando el costo por unidad de longitud.

Por otra parte se encuentran los cilindros que serán utilizados para la detención de los envases durante las diferentes etapas de la aplicación. Por lo cual se

² Tomado de: www.ronatec.us

seleccionaron cilindros de carrera corta y carrera larga, que se ajustan a las dimensiones de la banda transportadora, la Ilustración 4 muestra en detalle el anterior mencionado.

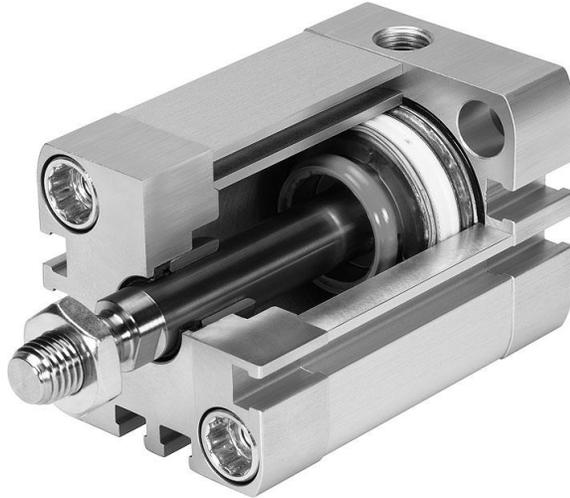


Ilustración 4. Cilindro compacto ADN-12-80-I-P-A.³

Para la aplicación, se seleccionó el cilindro con referencia ADN-12-80-I-P-A con una carrera de 80mm, la cual se ajusta a las dimensiones de la banda transportadora, lo cual evitara que el flujo de envases cuando este se encuentre extraído.

Por otra parte, se selecciona el cilindro DSBC-40-200-PPVA-N3 con una carrera de 200mm, amortiguación en ambos lados, con una presión de funcionamiento 6 bares, entre otras características. Este será el encargado de realizar el movimiento vertical de las boquillas de llenado y también de la herramienta de roscado.

³ Tomado de: www.festo.com



Ilustración 5. Cilindro DSBC-40-200-PPVA-N3 ³

Otro elemento que está incluido la etapa de llenado son las boquillas de llenado por gravedad o Nozzles (ver Ilustración 6 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), las cuales ofrecen excelente rendimiento con fluidos de baja y mediana viscosidad; además son ampliamente utilizadas en aplicaciones donde se necesita una exactitud de +/- 1%.

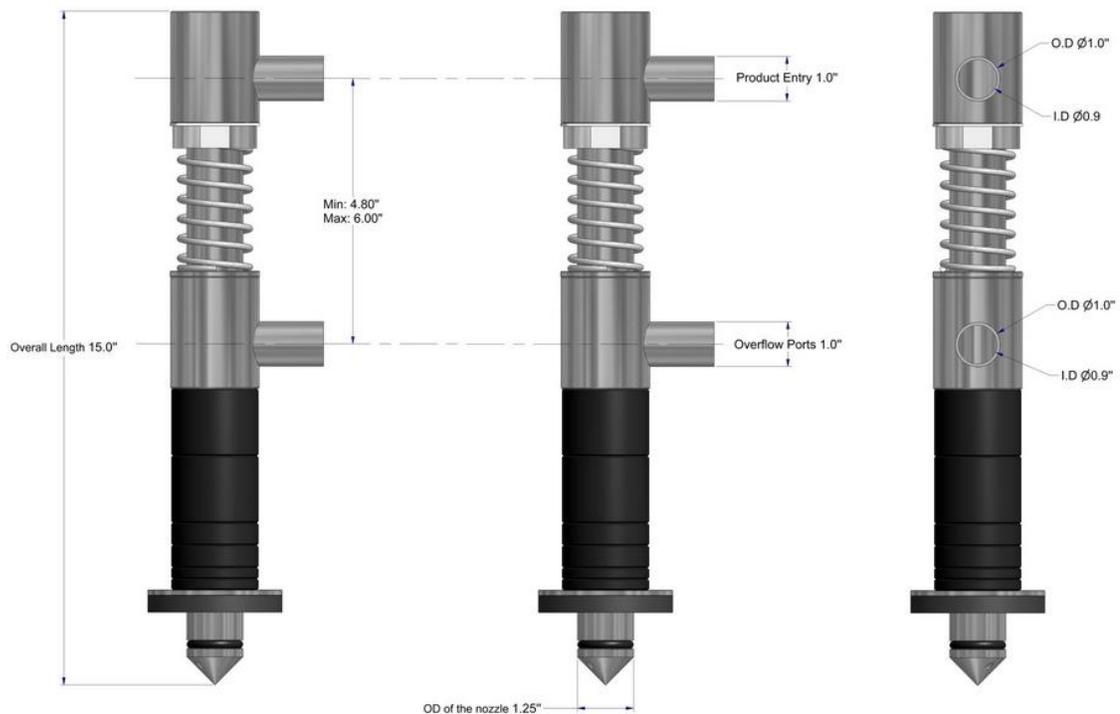


Ilustración 6. Boquilla de llenado - Nozzle.⁴

Estas boquillas están construidas en acero 316 con sellos en viton. Sin embargo existen otro tipo de materiales de construcción, pero este es el que se necesita para la aplicación. Es recomendable que los envases sean rígidos y permitan un sello hermético sin importar la forma externa de estos.

Para distribuir aire a los cilindros neumáticos las válvulas a implementar son de la serie V5221-08 solenoides de 5 vías dos posiciones de bobina simple.



Ilustración 7. Válvula V5221-08.⁵

Los sensores de proximidad seleccionados son de la referencia SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D (ver Ilustración 8) con principio de medición magnéticos reed salida de conmutación con contacto bipolar, montaje en ranura desde la parte superior que no sobresale del perfil del cilindro, la función del elemento de conmutación normalmente abierto/ normalmente cerrado.



Ilustración 8. Sensor de proximidad ³

⁴ Tomado de: www.packagingdynamics.com

⁵ Tomado de: www.emc-machinery.com

Adicionalmente, en la etapa de roscado se seleccionó un elemento neumático que permite realizar el roscado para distintos diámetros de tapas. Por lo cual el modelo seleccionado fue Accucapper LD (ver Ilustración 9), el cual ofrece excelente portabilidad y permite realizar roscados y desenroscados; además ofrece torque ajustable dependiendo de la aplicación. Una vez el Accucapper LD llega al ajuste de torque predefinido el mecanismo de rotación se detendrá, indicándole al operador que la rutina ha finalizado.



Ilustración 9. Accucapper LD para roscado de tapas.⁶

El Accucapper LD maneja un rango de torque entre 10 y 30 N-Lb, con un rango de tamaño para las tapas entre 5 y 25 mm, entre otros requerimientos es recomendable una presión de 90 PSI y la velocidad puede ser configurada por el operador.

⁶ Tomado de: www.accutekpackaging.com

Para mantener el flujo de aire demandado de 38 l/min (aproximadamente 1.5 Ft³/min), a una presión de funcionamiento 6 bar en el sistema de automatización por los elementos neumáticos descritos anteriormente, tales como los cilindros y el instrumento seleccionado para el roscado de tapas, el compresor adecuado es de la serie Campbell Hausfeld 1.7-HP 13-Gallon sus especificaciones técnicas se muestran en la ilustración 10.



Motor	
Voltage	120 Volt AC
Phase	1-Phase
Magnetic Starter	No
Engine	
HP	1.7
Pump	
CFM	3.8
CFM Rated @	90 PSI
Pump Material	Aluminum
Pump Type	Single-Stage
Max PSI	125 PSI
Pump Drive	Direct Drive
Oil Type	Oil Free
Tank	
Tank Size	13 Gallons
Tank Orientation	Horizontal
Overview	
Weight	69 Pounds
Dimensions	32L x 20W x 30H
Consumer Warranty	1 Year
UPC	045564588670
Model	WVL6501

Tabla 1. Especificaciones técnicas compresor de aire ⁷

⁷ Tomado de: <http://www.aircompressorsdirect.com/>

El elemento esencial que forma parte de la automatización es el controlador S7-1200 de diseño compacto, alta escala de integración aplicable tanto para los controles más simples como también Para tareas complejas de automatización, Aplicable aislado, interconectado en red o en configuraciones descentralizadas., requiere poco espacio y además es muy potente cuenta con interfaz PROFINET IO integrada para la comunicación con controladores SIMATIC, HMI, la programadora u otros componentes de automatización. Las especificaciones del controlador se muestran a continuación:

- CPU compacta, DC/DC/DC (Ilustración 10)
- Memoria de programas/datos integrada de 100 kbytes
- Memoria de carga de 2 Mbytes
- Alimentación de 24 V DC
- Tiempo de ejecución booleano 0,1 μ s por operación
- 14 entradas digitales
- 10 salidas digitales
- 2 entradas analógicas
- Ampliable con hasta 3 Comunicación Módulos
- 8 Signal Modules y 1 Signal Board/Communication Board
- Entradas digitales utilizables como HSC con 100 kHz
- Salidas digitales de 24 V DC utilizables como salidas de impulsos (PTO) o salidas con modulación de ancho de impulsos (PWM) con 100 kHz



Ilustración 10. CPU 1214C⁸

⁸ Tomado de: www.automation.siemens.com

Se selecciona este controlador ya que cumple con los requerimientos con respecto al número de entradas y salidas necesarias para el diseño de la automatización, donde se hacen necesarias 6 entradas digitales y 9 salidas digitales como se referencia más adelante.

FACTIBILIDAD ECONÓMICA

En el análisis económico se examinan los distintos escenarios, partiendo del escenario actual, detallando la inversión necesaria para automatizar el proceso de llenado y planteando el escenario con la automatización implementada.

Inicialmente, el análisis del primer escenario tiene como finalidad observar los ingresos y los costos actuales de la planta dada una producción de 800 unidades envasadas del producto jugo de 286 cc como se observa en la siguiente tabla:

Ingresos anuales actuales por el producto jugo										
Producto	Cantidad diaria	Cantidad vendida al mes	Precio Unitario	Ingresos mensuales	Ingresos año 1	Ingresos año 2	Ingresos año 3	Ingresos año 4	Ingresos año 5	Total
Jugo 286 cc	800	24.000	\$ 800	\$ 19.200.000	\$ 230.400.000	\$ 237.312.000	\$ 244.431.360	\$ 251.764.301	\$ 259.317.230	\$ 1.223.224.891

Costos anuales actuales por el producto jugo relacionados con el proceso de llenado							
Descripción	Costo unitario por mes	Costos año 1	Costos año 2	Costos año 3	Costos año 4	Costos año 5	Total
Sueldo y prestaciones empleado	\$ 1.304.340	\$ 15.652.080	\$ 16.121.642	\$ 16.605.292	\$ 17.103.450	\$ 17.616.554	\$ 83.099.018
Costos directos de fabricación	\$ 11.520.000	\$ 138.240.000	\$ 142.387.200	\$ 46.658.816	\$ 151.058.580	\$ 155.590.338	\$ 733.934.934
Total costos actuales		\$ 153.892.080	\$ 158.508.842	\$ 63.264.108	\$ 168.162.031	\$ 173.206.892	\$ 817.033.953

Utilidades	\$ 76.507.920	\$ 78.803.158	\$ 81.167.252	\$ 83.602.270	\$ 86.110.338	\$ 406.190.938
-------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------

Tabla 2. Utilidades situación actual.

En segundo lugar, se realizó una cotización de la inversión necesaria para automatizar la planta de llenado de jugo, describiendo los costos por equipo, montaje, ingeniería y mantenimiento programado. Obteniendo un inversión aproximada de \$16.229.033 como se detalla en la Tabla 3.

EQUIPO/ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
ADN-12-80-I-P-A	CIL. COMPACTO	\$ 208.340	3	\$ 625.021
GRLA-M5-QS-4-RS-D	RACOR FUNCIONAL	\$ 71.133	3	\$ 213.400
SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D	SENSOR DE PROXIMIDAD	\$ 104.765	3	\$ 314.296
V5221-08	VALVULA NEUMATICA	\$ 122.772	5	\$ 613.860
RONATEC	BANDA TRANSPORTADORA	\$ 2.678.661	1	\$ 2.678.661
ESTRUCTURA EN ACERO INOXIDABLE	ESTRUCTURA EN ACERO INOXIDABLE	\$ 892.887	1	\$ 892.887
CAMPBELL HAUSFELD 1.7-HP 13-GALLON	COMPRESOR DE AIRE	\$ 1.041.672	1	\$ 1.041.672
NEBU-M8G3-K-2.5-LE3	CABLE DE CONEXIÓN SENSOR DE PROXIMIDAD	\$ 32.442	3	\$ 97.325
PUN-4X0,75-BL	TUBO FLEXIBLE	\$ 3.214	20	\$ 64.288
NOZZLE	BOQUILLA DE LLENADO	\$ 89.289	3	\$ 267.866
ADN-1"-21/2"-I-P-A	CIL. COMPACTO	\$ 250.008	2	\$ 500.017
GRLA-M5-QS-6-RS-D	RACOR FUNCIONAL	\$ 71.133	2	\$ 142.267
PUN-6X1-BL	TUBO FLEXIBLE	\$ 4.673	10	\$ 46.728
AccuCapper™ LD	TAPADOR	\$ 892.887	1	\$ 892.887
6ES5710-8MA11	PERFIL SOPORTE 35 MM, LONGITUD: 483 MM, PARA ARMARIOS DE 19"	\$ 139.886	1	\$ 139.886
6EP1332-1SH71	ALIMENTACIÓN PM1207, 120/230 V AC, SALIDA: 24 V DC	\$ 377.989	1	\$ 377.989
6ES7214-1AG40-0XB0	CPU 1214C (14 DI 24V DC; 10 DO 24V DC; 2 AI), PS 24V DC	\$ 1.319.985	1	\$ 1.319.985
INGENIERIA BASICA Y MONTAJE	CALCULOS Y PLANOS	\$ 3.200.000	1	\$ 3.200.000
MANTENIMIENTO	PROGRAMADO 2 VECES POR AÑO	\$ 2.800.000	1	\$ 2.800.000
			INVERSION EQUIPOS	\$ 16.229.033

Tabla 3. Costos Inversión

En el segundo escenario por su parte, se realizó una proyección de la cantidad de producto envasado al día que se obtiene una vez implementada la automatización de 2500 unidades diarias, las cuales aproximadamente aumentarían en un 213%, lo cual es muy significativo en comparación con la producción sin la implementación de la automatización.

También se analizan los ingresos y los costos proyectados si se aplicara la automatización, presentando un incremento en las unidades producidas de 800 a 2500, y en consecuencia también un incremento en los ingresos del primer año al pasar de \$230.400.000 en la situación actual a \$720.000.000 en el escenario bajo automatización en el mismo año. A su vez, se evidencia un incremento en las utilidades proyectadas con el sistema de automatización respecto de las utilidades bajo el sistema actual (Tabla 3).

Ingresos anuales proyectados por el producto jugo (por 5 años)										
Producto	Cantidad diaria	Cantidad vendida al mes	Precio Unitario	Ingresos mensuales	Ingresos año 1	Ingresos año 2	Ingresos año 3	Ingresos año 4	Ingresos año 5	Total
Jugo 286 cc	2500	75.000	\$ 800	\$ 60.000.000	\$ 720.000.000	\$ 741.600.000	\$ 763.848.000	\$ 786.763.440	\$ 810.366.343	\$ 3.822.577.783

Costos anuales proyectados por el producto jugo relacionados con el proceso de llenado						
Descripción	Costo año 1	Costo año 2	Costo año 3	Costo año 4	Costo año 5	Total
Inversión inicial sistema automatización (vida útil estimada 10 años)	\$ 1.622.903	\$ 1.622.903	\$ 1.622.903	\$ 1.622.903	\$ 1.622.903	\$ 8.114.516
Costos de mantenimiento	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000	\$ 14.000.000
Costos directos de fabricación	\$ 432.000.000	\$ 444.960.000	\$ 458.308.800	\$ 472.058.064	\$ 486.219.806	\$ 2.293.546.670
Total	\$ 436.422.903	\$ 449.382.903	\$ 462.731.703	\$ 476.480.967	\$ 490.642.709	\$ 2.315.661.186

Utilidades proyectadas	\$ 283.577.097	\$ 292.217.097	\$ 301.116.297	\$ 310.282.473	\$ 319.723.634	\$ 1.506.916.597
-------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-------------------------

Incremento de la utilidad con el sistema de automatización	\$ 207.069.177	\$ 213.413.939	\$ 219.949.044	\$ 226.680.203	\$ 233.613.296	\$ 1.100.725.659
---	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-------------------------

Tabla 4. Utilidades proyectadas con el sistema de automatización.

FILOSOFÍA DE CONTROL

La idea central de automatización es minimizar los tiempos y costos de producción, permitiendo una mínima intervención humana, además de reducir o eliminar las pérdidas de producto a causa de la operación manual del llenado de jugo.

La operación automatizada inicia con la detección de envases a la entrada de la etapa de llenado, de la cual se debe permitir el paso a diez (10) de estos, ya que de acuerdo al diseño se tienen diez (10) boquillas de llenado. Luego que el sensor en la entrada de la etapa de llenado culmina con el conteo, se habilita uno de los dos cilindros de detención de botellas en esta misma etapa, mientras que el otro es habilitado al iniciar el proceso, y se encuentra a la salida de la etapa de llenado.

Al instante que haya culminado el conteo, y los cilindros hayan sido habilitados o energizados, un tercer cilindro será energizado; este, es el encargado de desplazar verticalmente el grupo de boquillas de llenado que permitirán el paso del producto hacia los envases que ingresaron a esta etapa. Existe un tiempo de operación asociado al llenado, el cual se debe cumplir para que las boquillas de llenado regresen a su posición inicial, además para que los cilindros ubicados a la entrada y salida de esta etapa sean desenergizados y se permita el paso de los envases con el producto hacia la siguiente etapa. Una vez ambos sensores detecten que las diez botellas han pasado a la siguiente etapa, estos se energizarán los cilindros de detención y el proceso iniciará nuevamente en esta etapa.

La segunda etapa es la encargada de realizar el roscado de los envases con el producto contenido; inicialmente, un sensor detecta la llegada de los envases al inicio de la etapa de roscado, posterior a esto un cilindro se encarga de detener dicho envase mientras que un segundo cilindro se encarga del movimiento vertical del dispositivo encargado de ajustar las tapas al envase. Debido a que el procedimiento es relativamente rápido, el cilindro encargado de detener los envases permanece energizado mientras se ajustan las tapas; luego de esto, el cilindro de bloqueo de desenergiza permitiendo el paso del envase llenado y roscado; quedando preparado para una nueva rutina.

ARQUITECTURA DE CONTROL

Para el diseño del presente proyecto, se especifica una arquitectura de control a implementar de la siguiente manera como se observa en Ilustración 11.



Ilustración 11. Arquitectura de control

De la figura anterior podemos observar que se cuenta con una estación de trabajo, encargada para diseñar o modificar la estrategia de control y operar el proceso con la implementación requerida; además se identifica el controlador el cual incluye interfaces de E/S a las cuales se conectarán los dispositivos del nivel inferior donde se encuentran ubicados los sensores y elementos finales de operación.

PROGRAMACIÓN DEL PLC

El diseño de la automatización tiene como premisa fundamental integrar los cilindros encargados de la detención de las botellas, de igual forma que los cilindros encargados de realizar el movimiento vertical del conjunto de boquillas para el llenado y del roscado; además de controlar el roscado para uno de los envases provenientes de la etapa de llenado. Es necesario aclarar que el diseño comprende solo la programación del PLC Siemens S71200, incluyendo todos elementos descritos con anterioridad. La programación del PLC se realizó utilizando el lenguaje de programación LADDER, el cual permite realizar rutinas por medio de contactos y funciones predefinidas en el software Tia Portal. Inicialmente se definieron las variables asociadas al proceso, las cuales serán incluidas en el programa, como se muestra en Tabla 5.

Descripción	Dirección
Parada_Emergencia	%I0.0
Parada	%I0.1
Arranque	%I0.2
Sensor_In_Llenado	%I0.3
Sensor_Out_Llenado	%I0.4
Sensor_Roscado	%I0.5
Cilindro_Boquillas	%Q0.0
Cilindro_Out_Llenado	%Q0.1
Cilindro_In_Llenado	%Q0.2
Cilindro_In_Roscado	%Q0.3
Cilindro_Roscado	%Q0.4
Piloto_En_Operación	%Q0.5
Piloto_Detenido	%Q0.6
Piloto_P_Emergencia	%Q0.7
Motor_Banda_Transp	%Q1.0

Tabla 5. TAG's de programación en el PLC

En el desarrollo de la programación del PLC se describen cinco rutinas, primeramente se encuentra la rutina principal donde se realiza el llamado de las demás subrutinas conformadas por: Asignación de los contactos de entrada, Llenado, Roscado y finalmente los pilotos en el panel del operador, las cuales son profundamente descritas a continuación.

MAIN PROGRAM

Network 1: Llamado de la función para asignación de las entradas/salidas hacia las marcas.

Cada de una de las entradas y salidas del PLC es asociada a una marca, esto con el fin de evitar reprogramación de la lógica en caso que algun contacto de entrada/salida se dañe.



Network 2: Llamado de la función para el llenado del producto.

El bloque de llenado consiste en dos cilindros que detienen las botellas, estos asociados a sensores en la entrada y salida que llevan el conteo de los envases que se llenarán. Además existe otro cilindro que sube y baja el rack de las boquillas para cada uno de los envases.



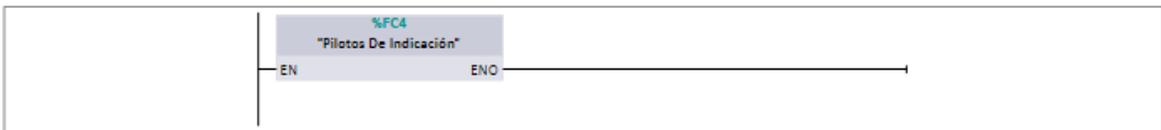
Network 3: Llamado de la función para el roscado de los envases.

En esta etapa, cada envase que entra con el producto se le coloca una tapa, para esto hay un sensor que verifica el paso del envase para que el cilindro la detenga, luego otro cilindro baja la estructura con el cilindro giratorio que ajusta la tapa.



Network 4: Llamado de a función de los pilotos en el panel frontal.

En esta rutina se habilitan los tres estados de operación; en operación, detenido, parada de emergencia.



ASIGNACIÓN DE LOS CONTACTOS DE ENTRADA/SALIDA A MARCAS

En esta subrutina se realiza la asignación de cada una de las entradas y salidas a marcas predefinidas en el PLC; esto con la finalidad que en caso que alguno de los contactos anteriormente mencionados sufra algún daño, no sea necesario realizar una reprogramación del PLC sino solamente reemplazar el contacto defectuoso asignado por otro que funcione.

Network 1: Asignación del contacto de parada de emergencia.



Symbol	Address	Type	Comment
"Emergency_Stop"	%M0.0	Bool	
"Parada_Emergencia"	%IO.0	Bool	

Network 2: Asignación del contacto de parada.



Symbol	Address	Type	Comment
"Parada"	%IO.1	Bool	
"Stop"	%M0.1	Bool	

Network 3: Asignación del contacto de arranque del sistema.



Symbol	Address	Type	Comment
"Arranque"	%IO.2	Bool	
"Start"	%M0.2	Bool	

Network 4: Asignación del contacto asociado al sensor al inicio de la etapa de llenado.



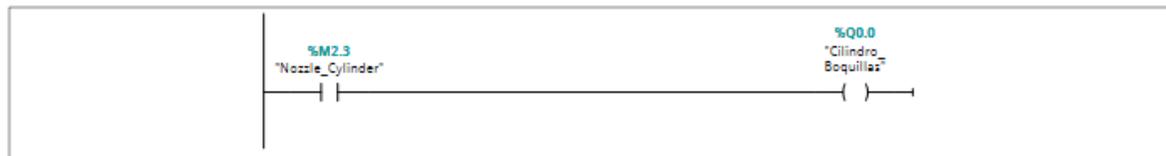
Symbol	Address	Type	Comment
"Bottle_Counter_1"	%M0.5	Bool	
"Sensor_In_Llenado"	%I0.3	Bool	

Network 5: Asignación del contacto asociado al sensor a la salida de la etapa de llenado.



Symbol	Address	Type	Comment
"Bottle_Counter_2"	%M0.7	Bool	
"Sensor_Out_Llenado"	%I0.4	Bool	

Network 6: Asignación del contacto que sube o baja el rack de las boquillas de llenado.



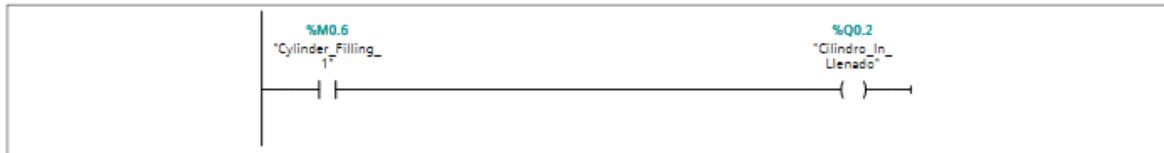
Symbol	Address	Type	Comment
"Cilindro_Boquillas"	%Q0.0	Bool	
"Nozzle_Cylinder"	%M2.3	Bool	

Network 7: Asignación del contacto asociado al cilindro que detiene los envases al final de la etapa de llenado.



Symbol	Address	Type	Comment
"Cilindro_Out_Llenado"	%Q0.1	Bool	
"Cylinder_Filling_2"	%M0.4	Bool	

Network 8: Asignación del contacto asociado al cilindro que detiene los envases a la entrada de la etapa de llenado.



Symbol	Address	Type	Comment
"Cilindro_In_Llenado"	%Q0.2	Bool	
"Cylinder_Filling_1"	%M0.6	Bool	

Network 9: Asignación del contacto asociado al sensor al inicio de la etapa de roscado.



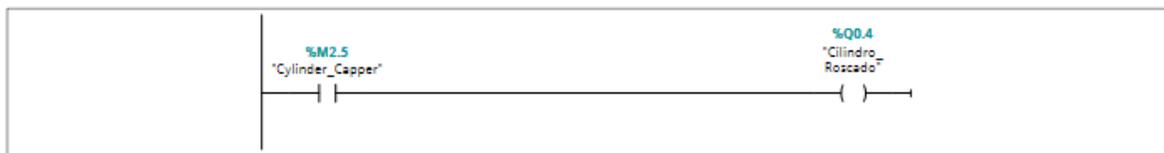
Symbol	Address	Type	Comment
"Sensor_Capping"	%M1.6	Bool	
"Sensor_Roscado"	%I0.5	Bool	

Network 10: Asignación del contacto asociado al cilindro que realiza la detención de los envases en la etapa de roscado.



Symbol	Address	Type	Comment
"Cilindro_In_Roscado"	%Q0.3	Bool	
"Cylinder_Capping"	%M1.7	Bool	

Network 11: Asignación del contacto asociado al cilindro giratorio que ajusta la tapa al envase del producto.



Symbol	Address	Type	Comment
"Cilindro_Roscado"	%Q0.4	Bool	
"Cylinder_Capper"	%M2.5	Bool	

Network 12: Asignación del contacto asociado al piloto que indica que el equipo se encuentra en operación.



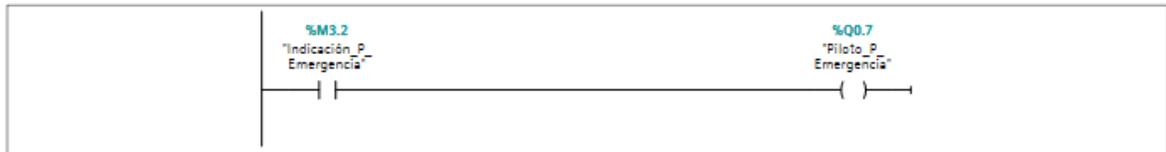
Symbol	Address	Type	Comment
"Indicación_En_Operación"	%M3.0	Bool	
"Piloto_En_Operación"	%Q0.5	Bool	

Network 13: Asignación del contacto asociado al piloto que indica que el equipo se encuentra en detenido.



Symbol	Address	Type	Comment
"Indicación_Detenido"	%M3.1	Bool	
"Piloto_Detenido"	%Q0.6	Bool	

Network 14: Asignación del contacto asociado al piloto que indica que la parada de emergencia se encuentra habilitada.



Symbol	Address	Type	Comment
"Indicación_P_Emergencia"	%M3.2	Bool	
"Piloto_P_Emergencia"	%Q0.7	Bool	

Network 15: Asignación del contacto asociado al motor de la banda transportadora.

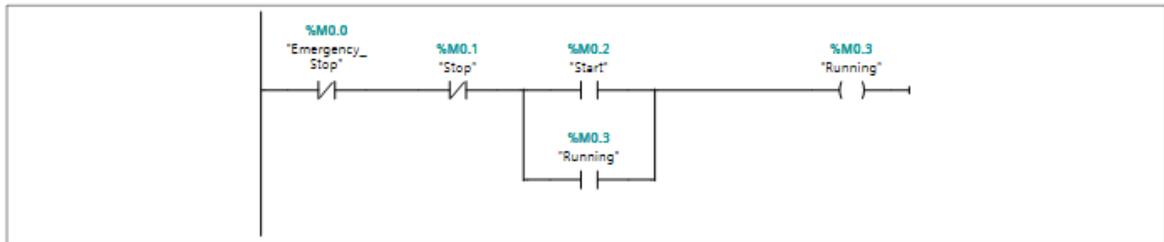


Symbol	Address	Type	Comment
"Conveyor_Motor"	%M3.3	Bool	
"Motor_Banda_Transp"	%Q1.0	Bool	

RUTINA DE LLENADO

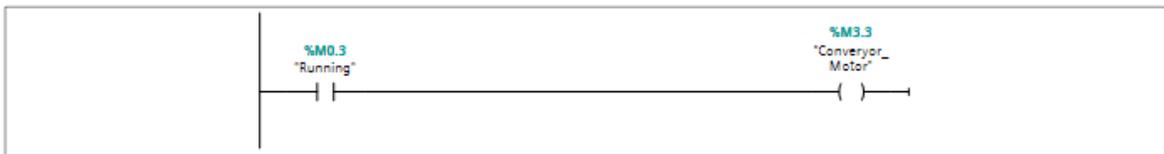
Esta subrutina se encarga de realizar el llenado del producto hacia los envases, en esta etapa están incluidas las boquillas de llenados al igual que los cilindros de detención de los envases y el cilindro encargado de realizar el movimiento vertical de la estructura donde se encuentran ancladas las diez boquillas.

Network 1: INICIO DEL SISTEMA



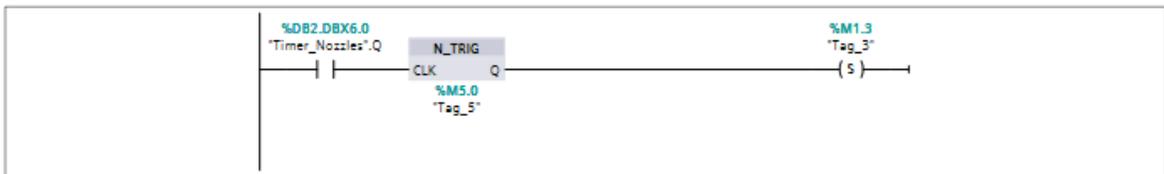
Symbol	Address	Type	Comment
"Emergency_Stop"	%M0.0	Bool	
"Running"	%M0.3	Bool	
"Start"	%M0.2	Bool	
"Stop"	%M0.1	Bool	

Network 2: Energización del motor de la banda transportadora



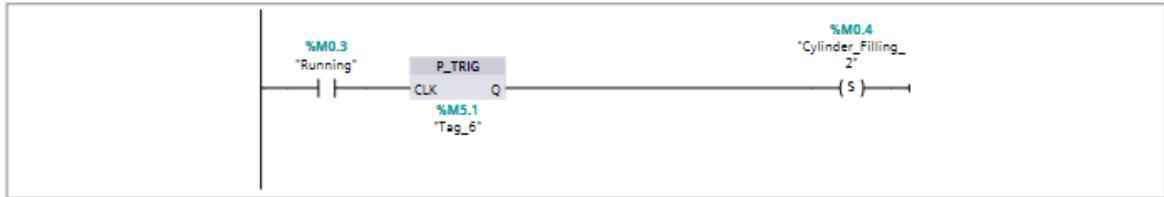
Symbol	Address	Type	Comment
"Conveyor_Motor"	%M3.3	Bool	
"Running"	%M0.3	Bool	

Network 3: VERIFICACIÓN LLENADO TERMINADO



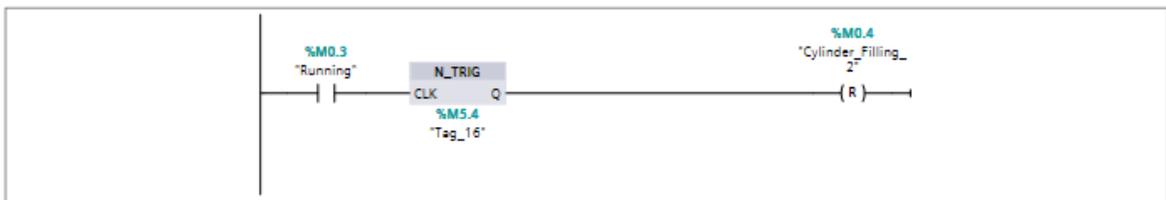
Symbol	Address	Type	Comment
"Tag_3"	%M1.3	Bool	
"Tag_5"	%M5.0	Bool	
"Timer_Nozzles".Q	%DB2.DBX6.0	Bool	

Network 4: ENERGIZACIÓN DEL CILINDRO 2 DURANTE EL ARRANQUE



Symbol	Address	Type	Comment
"Cylinder_Filling_2"	%M0.4	Bool	
"Running"	%M0.3	Bool	
"Tag_6"	%M5.1	Bool	

Network 5: DEENERGIZACIÓN DEL CILINDRO 2 PARA LAS PARADAS



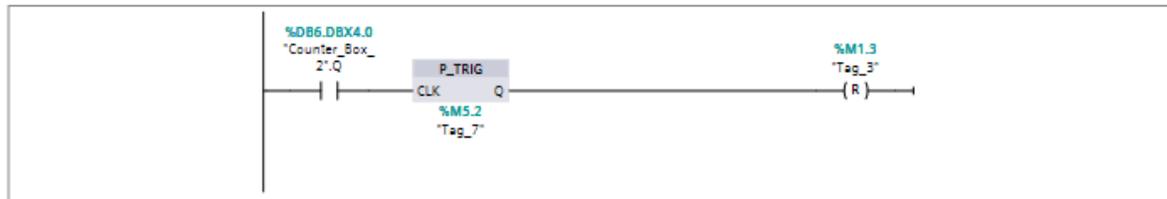
Symbol	Address	Type	Comment
"Cylinder_Filling_2"	%M0.4	Bool	
"Running"	%M0.3	Bool	
"Tag_16"	%M5.4	Bool	

Network 6: LLENADO TERMINADO Y DEENERGIZACIÓN DEL CILINDRO 2



Symbol	Address	Type	Comment
"Cylinder_Filling_2"	%M0.4	Bool	
"Tag_3"	%M1.3	Bool	

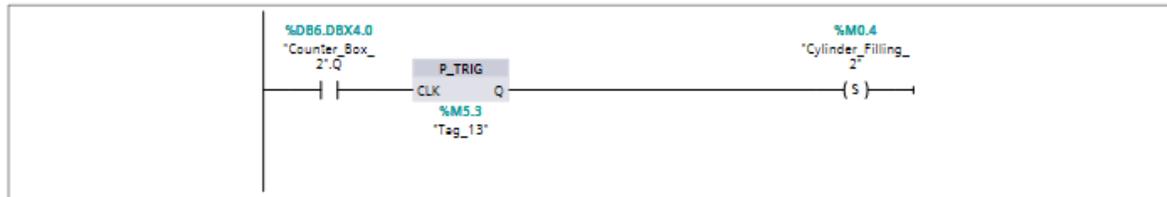
Network 7: ENERGIZACIÓN DEL CILINDRO 2 AL FINALIZAR LA RUTINA



Symbol	Address	Type	Comment
"Counter_Box_2".Q	%DB6.DBX4.0	Bool	
"Tag_3"	%M1.3	Bool	
"Tag_7"	%M5.2	Bool	

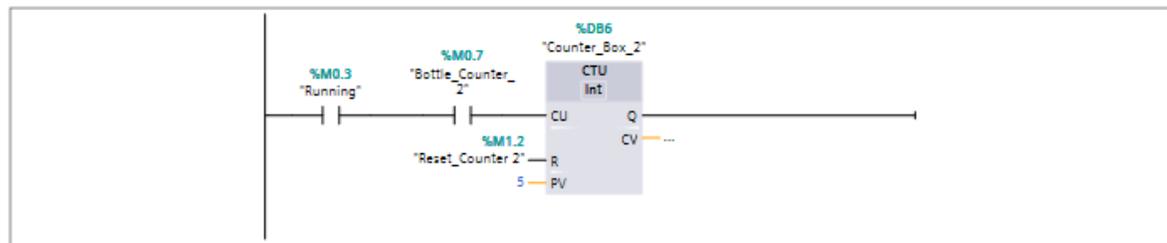
Network 8: DESENERGIZACIÓN DEL CILINDRO 2

M1.3 ESTABA EN R



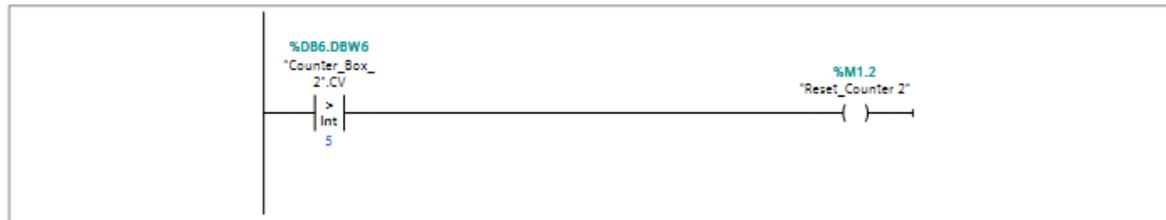
Symbol	Address	Type	Comment
"Counter_Box_2".Q	%DB6.DBX4.0	Bool	
"Cylinder_Filling_2"	%M0.4	Bool	
"Tag_13"	%M5.3	Bool	

Network 9: CONTADOR DE BOTELLAS A LA SALIDA



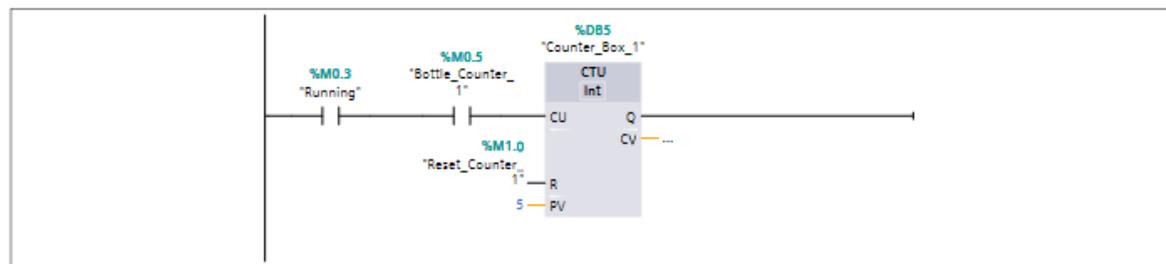
Symbol	Address	Type	Comment
"Bottle_Counter_2"	%M0.7	Bool	
"Reset_Counter 2"	%M1.2	Bool	
"Running"	%M0.3	Bool	

Network 10: REINICIO DEL CONTADOR A LA SALIDA



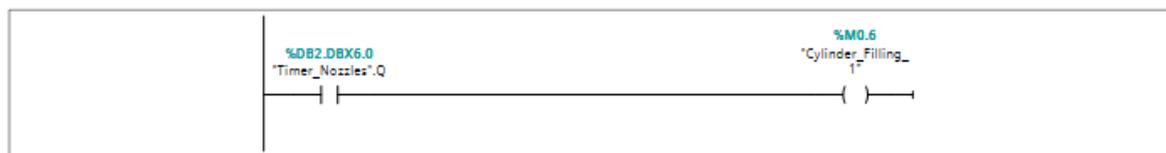
Symbol	Address	Type	Comment
"Counter_Box_2".CV	%DB6.DBW6	Int	
"Reset_Counter 2"	%M1.2	Bool	

Network 11: CONTADOR DE BOTELLAS A LA ENTRADA



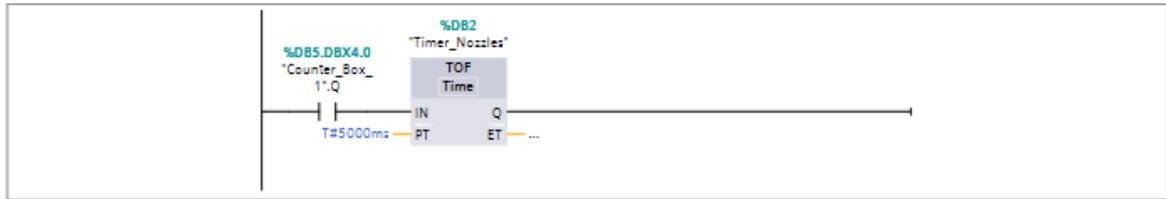
Symbol	Address	Type	Comment
"Bottle_Counter_1"	%M0.5	Bool	
"Reset_Counter_1"	%M1.0	Bool	
"Running"	%M0.3	Bool	

Network 12: ENERGIZACIÓN DEL CILINDRO 1



Symbol	Address	Type	Comment
"Cylinder_Filling_1"	%M0.6	Bool	
"Timer_Nozzles".Q	%DB2.DBX6.0	Bool	

Network 13: TIEMPO DE LLENADO



Symbol	Address	Type	Comment
"Counter_Box_1".Q	%DB5.DBX4.0	Bool	

Network 14: ENERGIZACIÓN DEL CILINDRO ENCARGADO DE SUBIR/BAJAR EL RACK DE BOQUILLAS DE LLENADO.



Symbol	Address	Type	Comment
"Nozzle_Cylinder"	%M2.3	Bool	
"Timer_Nozzles".Q	%DB2.DBX6.0	Bool	

Network 15: REINICIO DEL CONTADOR A LA ENTRADA



Symbol	Address	Type	Comment
"Counter_Box_1".CV	%DB5.DBW6	Int	
"Reset_Counter_1"	%M1.0	Bool	

Network 16: (R) DEL REINICIO

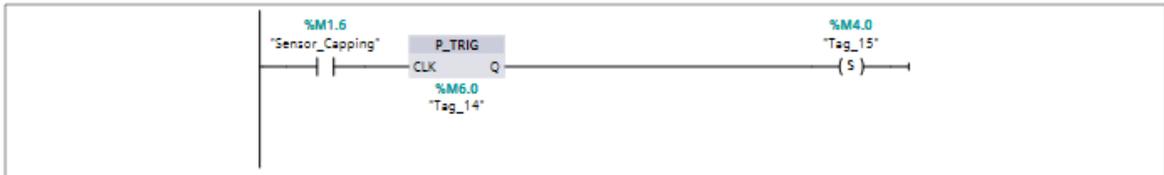


Symbol	Address	Type	Comment
"Reset_Counter_1"	%M1.0	Bool	
"Timer_Nozzles".Q	%DB2.DBX6.0	Bool	

RUTINA DE ROSCADO

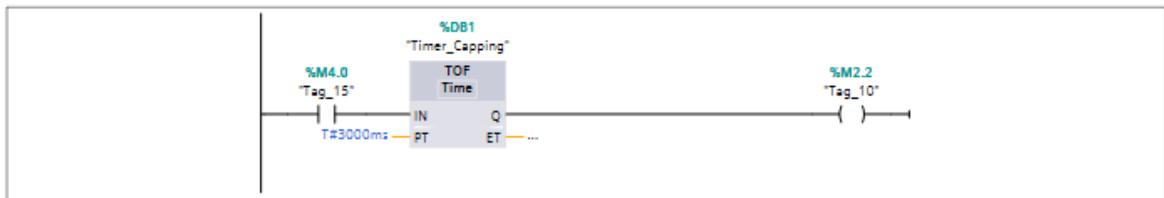
En esta etapa se realiza el roscado, de tal forma que cada envase que llega se le coloca la tapa y se ajusta con su respectivo torque.

Network 1: HABILITACIÓN DEL CILINDRO DE DETENCIÓN A LA ENTRADA, INICIADA POR EL SENSOR DE ENVASES.



Symbol	Address	Type	Comment
"Sensor_Capping"	%M1.6	Bool	
"Tag_14"	%M6.0	Bool	
"Tag_15"	%M4.0	Bool	

Network 2: TIEMPO DEL PROCESO DE ROSCADO.



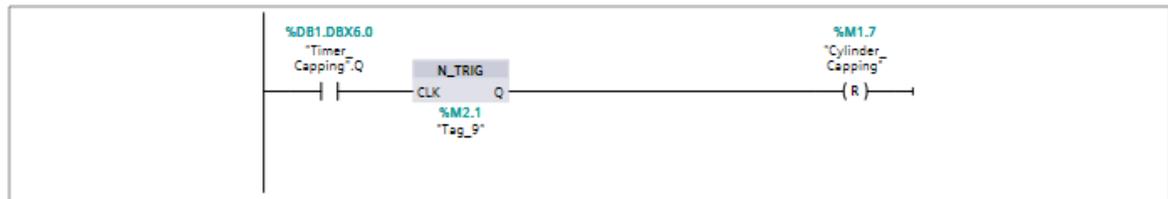
Symbol	Address	Type	Comment
"Tag_10"	%M2.2	Bool	
"Tag_15"	%M4.0	Bool	

Network 3: RESET DE LA MARCA M2.2 PARA INICIO DE LA RUTINA.



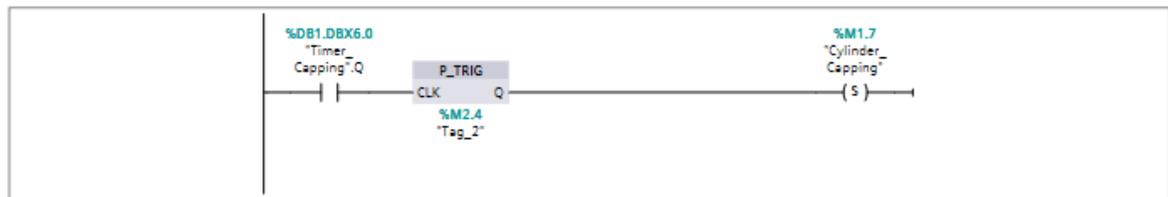
Symbol	Address	Type	Comment
"Tag_10"	%M2.2	Bool	
"Tag_15"	%M4.0	Bool	

Network 4: REINICIO DEL CILINDRO ENCARGADO DEL BLOQUEO DE LOS ENVASES.



Symbol	Address	Type	Comment
"Cylinder_Capping"	%M1.7	Bool	
"Tag_9"	%M2.1	Bool	
"Timer_Capping".Q	%DB1.DBX6.0	Bool	

Network 5: ENERGIZACIÓN DEL CILINDRO ENCARGADO DEL BLOQUEO DE LOS ENVASES.



Symbol	Address	Type	Comment
"Cylinder_Capping"	%M1.7	Bool	
"Tag_2"	%M2.4	Bool	
"Timer_Capping".Q	%DB1.DBX6.0	Bool	

Network 6: ENERGIZACIÓN DEL CILINDRO ENCARGADO DEL ROSCADO DE LAS TAPAS A LOS ENVASES.



Symbol	Address	Type	Comment
"Cylinder_Capper"	%M2.5	Bool	
"Timer_Capping".Q	%DB1.DBX6.0	Bool	

PILOTOS DE INDICACIÓN

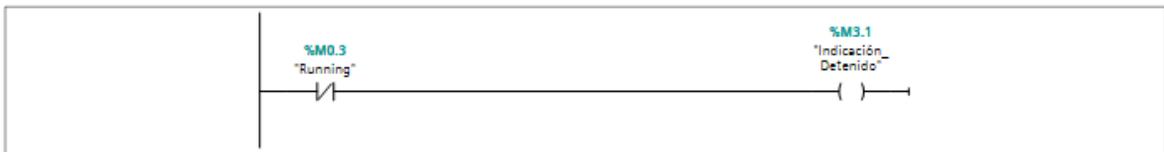
Los pilotos de indicación son incluidos dentro de este diseño para que el operador pueda conocer el estado del proceso de manera visual y tener control sobre el anterior mencionado.

Network 1:



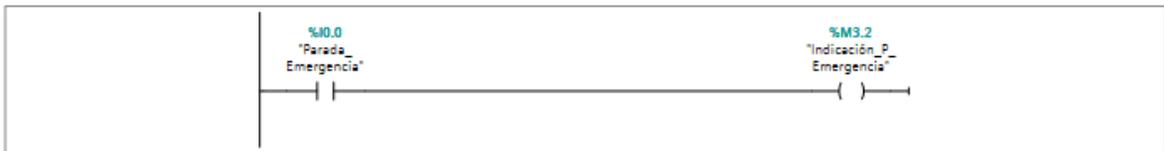
Symbol	Address	Type	Comment
"Indicación_En_Operación"	%M3.0	Bool	
"Running"	%M0.3	Bool	

Network 2:



Symbol	Address	Type	Comment
"Indicación_Detenido"	%M3.1	Bool	
"Running"	%M0.3	Bool	

Network 3:



Symbol	Address	Type	Comment
"Indicación_P_Emergencia"	%M3.2	Bool	
"Parada_Emergencia"	%I0.0	Bool	

RESULTADOS

Luego del diseño de la automatización como opción para mejorar la producción de la planta de llenado de la planta de PROLECA se obtuvieron los siguientes resultados:

- Teniendo en cuenta la solución propuesta a la problemática, se optimizó el proceso de llenado, aumentando la capacidad de la planta con la menor intervención humana posible.
- Se mejoró la administración de los recursos humanos, ya que por medio del diseño el proceso de llenado no se realiza de forma manual, sin embargo la asistencia del operador es vital en las etapas de llenado y roscado.
- Se obtuvo un diseño de bajo coste monetario con base en el análisis de factibilidad económica.
- La selección del controlador permite futuras ampliaciones y mejoras en las diferentes etapas del proceso, dejando espacio a rediseños de la automatización.
- La lógica utilizada para el control de las etapas del proceso permite mejorar los estándares de calidad, logrando cantidades específicas de producto para todos los envases.

POSIBLES TRABAJOS FUTUROS

- La primera etapa de un proceso de llenado típico no está incluida en este diseño, por tanto el diseño de una etapa organizadora puede ser desarrollado; estando esta etapa más relacionada con diseño civil y dependiendo de las especificaciones particulares de los envases.
- El proceso de alimentación de las tapas para el roscado puede ser desarrollado de manera automática, permitiendo al igual que la primera etapa realizar la organización de estas para que tener una mejor disposición física durante el proceso de roscado.
- Por otra parte, la etapa de embalaje no se encuentra incluida dentro de este diseño, dejando el camino abierto para futuros diseños.

CONCLUSIONES

El diseño de esta automatización se enfocó centralmente en optimizar la planta de llenado de jugo de PROLECA, proponiendo la instrumentación necesaria para alcanzar dicho objetivo, es decir mejorar la cantidad de producto envasado por día. Adicionalmente el costo que arrea dicho diseño se considera mínimo con respecto a los resultados estimados.

La no implementación de esta automatización no mejorará los estándares de producción de PROLECA, produciendo alrededor de 800 envases en presentación de 286cc al día; por el contrario, con el diseño desarrollado en este proyecto se estima una producción de alrededor 2500 envases listos para la distribución por día, mejorando la capacidad de la planta en un 213%; de igual manera los estándares de calidad aumentarían, ya que no existirá desperdicio de jugo ni envases con más o menos producto del especificado.

La instrumentación seleccionada, se ajusta a los parámetros demandados por la planta, garantizando las condiciones sanitarias adecuadas y permitiendo una programación y arquitectura sencilla para la operación de la anterior mencionada.

La lógica de control programada en el PLC no reemplaza la actividad realizada por los operadores, tiene como finalidad realizar buen uso de la mano de obra ya que el proceso no fue diseñado por completo automático, deja espacio para la intervención humana en la etapa de llenado y roscado, alimentando la planta con los envases y las tapas.

BIBLIOGRAFÍA

OLIVARES C. Alexandra M, GONZALEZ G. Carlos A, AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA PALETIZADOR DE ENVASES METÁLICOS, ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN EN SIMULACIÓN, Monografía Especialización, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, 2008.

ROSETO TOVAR. Juan Salvador, PÉREZ TORRES. Gerson Luís, DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA HVAC PARA UN CUARTO DE CONTROL EN LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA, Monografía Especialización, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, 2012.

OMEGA DESIGN CORPORATION. Bottle unscrambling and integrated packaging machinery [en línea]. <<http://www.omegadesign.com/unscramblers/>> [citado en 6 de Junio de 2016]

INLINE FILLING SYSTEMS. Filling machine selection guide [en línea]. <<http://www.fillers.com/filling-machine/>> [citado en 15 de Junio de 2016]