



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**“Diseño e implementación de un sistema automatizado utilizando visión artificial para la inspección de calidad del proceso de llenado y taponado de botellas”**

**AUTORES**

PINZON TITUANA SANTIAGO JOSUEE

BRAVO PICO ANTHONY JOSUE

**PROFESOR TUTOR**

ING. CHUQUIMARCA JIMÉNEZ LUIS ENRIQUE, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecer a Dios por brindarme salud, vida y fortaleza para enfrentar los problemas y seguir adelante y lograr una meta más como loes culminar con mis estudios universitarios.

En este momento de gran satisfacción, quisiera agradecer a mi madre la Lic. Gladis Tituana por brindarme su apoyo económico, emocional y por siempre confiar en mí, dado que sin su apoyo incondicional no hubiera logrado acabar con mis estudios universitarios.

Además, quiero agradecer a mis abuelos Florentino Tituana y Gloria Cando, mis primos, tíos y amigos quienes de alguna u otra manera me alentaban a seguir adelante en mis estudios, y de forma muy especial a la familia Borbor Flores por su apoyo.

Quiero agradecer a mi tutor por su paciencia, tiempo, dedicación su apoyo en el desarrollo de la presente tesis, agradecer por sus consejos y experiencia brindada hacia mi persona.

Finalmente, muchas gracias nuevamente a todos los que me apoyaron e hicieron posible la culminación de mi carrera universitaria.

Santiago Josuee Pinzon Tituana

## AGRADECIMIENTO

Me siento profundamente honrado de poder tener la oportunidad de extenderles mis más sinceros sentimientos de gratitud a todas aquellas personas que contribuyeron de manera más que significativa en la realización y ahora culminación de este trabajo de titulación.

Agradezco inmensamente en primer lugar a mi madre por haber sido mi pilar fundamental para poder llevar a cabo el desarrollo de este trabajo, pues sin su apoyo incondicional y paciencia sobrecogedora conseguir esta meta tan importante no habría podido ser posible bajo ningún sentido.

Agradezco con el corazón en la mano a absolutamente todos y cada uno de mis amigos y compañeros de carrera que sin dudarlo ni un poco estuvieron allí para extenderme su mano cuando más lo llegué a necesitar, además de alentarme cuando sentí que todo se empezaba a tornar imposible de alcanzar, no olvidaré cuán amables y solidarios fueron conmigo, los llevaré en la memoria por siempre.

Agradezco también con mucha solemnidad a mi colega de fórmula, con quien desde los cimientos logramos en conjunto darle forma a este trabajo, gracias por tanto y perdón por tan poco.

A nuestro tutor, el Ingeniero Luis Chuquimarca quien, con su acertada guía y loable predisposición para atender a nuestras inquietudes o necesidades emergentes, nos condujo exitosamente al culmen de este extenso camino.

Por último, pero no menos importante, me gustaría agradecer infinitamente a Melody, quien fue luz e inspiración en días difíciles, calma en medio de tormento, esperanza en medio de abatimiento y soporte cuando iba por la vida a la deriva sin rumbo sin norte, muchas gracias por haber estado allí.

Anthony Josue Bravo Pico

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación a mi madre la Lic. Gladis Tituana por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de los años, a mis abuelos, familiares y amigos que confiaron en mí.

Santiago Josuee Pinzon Tituana

Dedico el presente trabajo de titulación a mi querida madre, Jacqueline, quien con tanto cariño y dedicación promovió en mí las cualidades y valores que han forjado la persona que soy hoy por hoy. A mi padre, Enrique, que en paz descansa, allá donde te encuentres quiero que sepas que todo esto también ha sido y va por ti. A mis magnánimos amigos de la carrera Steeven, Alan, Jackson, Douglas, Edwin, Jason, Vladimir, Lisbette y los que falten, a ustedes me debo y por ustedes he podido continuar. A mis amigos de la infancia y adolescencia Jeancarlos, Trostky, Steven, Anthony, Gonzalo, Kevin, Richard, Jean, Marco y Alexander, a ustedes por estar desde el inicio. Finalmente, a Melody por demostrarme que aún hay un mañana por el cual luchar. A corazón abierto, sepan que este trabajo va dedicado a todos ustedes.

Anthony Josue Bravo Pico

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor/Tutora del trabajo de integración curricular denominado: **“Diseño e implementación de un sistema automatizado utilizando visión artificial para la inspección de calidad del proceso de llenado y taponado de botellas”**, elaborado por los estudiantes Pinzon Tituana Santiago Josuee y Bravo Pico Anthony Josue, de la carrera de Electrónica y Automatización de la facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo a los estudiantes para que inicien los trámites legales correspondientes.

La libertad, Diciembre del 2023



Firmado electrónicamente por:  
LUIS ENRIQUE  
CHUQUIMARCA JIMENEZ

---

Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez, MSc.

**DOCENTE TUTOR**

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

Ing. Ronald Rovira Jurado, PhD.  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

UÜÖÆJÁ  
Y ŠÆÖQ ŪÁ  
ÖUT ÖZÁ  
T UÜÖSÖU

ÖÄ( ää( Ää ää( ^) ÖÄ( ;UÜÖÖJÁ  
Y ŠÆÖQ ŪÁÖUT ÖZÁ T UÜÖSÖU  
ÖP(Ä) MUÜÖÆJÁ ŠÆÖQ ŪÁÖUT ÖZÁ  
T UÜÖSÖUÄ) MUÜÖÆJÁ ŠÆÖQ ŪÁ  
ÖUT ÖZÁ T UÜÖSÖUÄMÖ& ää( ;ÄMÖÖ  
T( ää( KÜ( Ä)äé q ;Ä^Ä^ÖÄ( & ( ^) q  
Vä&ä&ä&ä) K  
Ö&@äGEG-É-GÉÉ ÄHK I ää KEE

---

Ing. Óscar Gómez Morales, MBA  
**DOCENTE ESPECIALISTA**



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS ENRIQUE  
CHUQUIMARCA JIMENEZ**

---

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, MSc.  
**DOCENTE TUTOR  
DOCENTE GUÍA UIC**



---

Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgt.  
**SECRETARIA**

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda el diseño y la implementación de un sistema automatizado completo para monitorear y controlar de manera efectiva el llenado y sellado de botellas. Este sistema se sostiene en el uso de dispositivos industriales de última generación, los cuales le sacan provecho a la tecnología 4.0 para optimizar los procesos. Adicionalmente, como agregado de valor se incorpora un algoritmo especializado en visión por máquina cuyo objetivo principal es detectar si hay o no tapas en las botellas, asegurando la calidad y la integridad del producto final.

El diseño del trabajo de titulación se ha pensado para que sea sólido y confiable en entornos industriales, lo que da pie a que haya un control preciso y supervisión continua durante las fases de llenado y sellado. La implementación de este sistema se basa en la integración continua de dispositivos tecnológicos sofisticados, lo que promueve la creación de una plataforma efectiva para la automatización y el monitoreo en tiempo real de todo el proceso.

La razón detrás del desarrollo de un algoritmo de visión por máquina especializado para la inspección de tapas es garantizar la calidad del producto final identificando de manera precisa y rápida si existe presencia o ausencia de tapas en las botellas. Esta incorporación mejora significativamente la eficiencia y la confiabilidad de la línea de producción, reduciendo los errores y el desperdicio potencial de valiosa producción.

El estudio e implementación de este sistema automatizado representa un avance significativo en la optimización de procesos industriales. Se destaca su potencial para mejorar la calidad del producto, aumentar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados a fallas en el llenado y sellado de botellas que muchas veces se pueden presentar en entornos industriales reales, al no existir un nivel de control y automatización implementado lo suficientemente solvente.

**Palabras Claves:** tecnología 4.0, entornos industriales, control, automatización, visión por máquina.

## ABSTRACT

This degree work addresses the design and implementation of a complete automated system to effectively monitor and control the filling and sealing of bottles. This system is based on the use of state-of-the-art industrial devices, which take advantage of 4.0 technology to optimize processes. Additionally, as an added value, an algorithm specialized in machine vision is incorporated, whose main objective is to detect whether or not there are caps on the bottles, ensuring the quality and integrity of the final product.

The design of the titration work has been designed to be robust and reliable in industrial environments, which allows for precise control and continuous monitoring during the filling and sealing phases. The implementation of this system is based on the continuous integration of sophisticated technological devices, which promotes the creation of an effective platform for automation and real-time monitoring of the entire process.

The rationale behind the development of a specialized machine vision algorithm for cap inspection is to ensure the quality of the final product by accurately and quickly identifying the presence or absence of caps on the bottles. This incorporation significantly improves the efficiency and reliability of the production line, reducing errors and potential waste of valuable production.

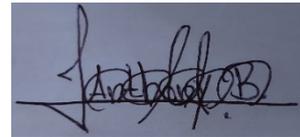
The study and implementation of this automated system represents a significant advance in the optimization of industrial processes. It highlights its potential to improve product quality, increase operational efficiency and reduce costs associated with bottle filling and sealing failures that can often occur in real industrial environments without a sufficiently robust level of control and automation in place.

**Keywords:** 4.0 technology, industrial environments, control, automation, machine vision.

## DECLARACIÓN

El contenido del presente trabajo de titulación es de nuestra entera responsabilidad, el patrimonio intelectual del mismo le pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Santiago Tituana



---

Pinzon Tituana Santiago Josuee

**Autor**

---

Bravo Pico Anthony Josue

**Autor**

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
TRIBUNAL DE GRADO .....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DECLARACIÓN .....	viii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
1. FUNDAMENTACIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Descripción del Proyecto.....	4
1.3 Justificación.....	10
1.4 Alcance del Proyecto.....	11
1.5 Metodología.....	12
CAPÍTULO II.....	17
2. PROPUESTA TECNOLÓGICA .....	17
2.1 Marco Contextual.....	17
2.2 Marco Conceptual.....	19
2.3 Marco Teórico.....	62
CAPÍTULO III.....	63
3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	63
3.1 Componentes de la propuesta .....	63
3.2 Diseño de la propuesta .....	98
3.3 Pruebas y resultados.....	125
CAPÍTULO IV.....	133
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
4.1 Conclusiones.....	133
4.2 Recomendaciones.....	136
ANEXOS .....	141

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Etapa de bombeo para el llenado de botellas plásticas. Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E .....	5
<b>Figura 2.</b> Línea de producción de botellas agrupada en un medio transportador (cinta transportadora). Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E .....	6
<b>Figura 3.</b> Retención y alineación de botellas mediante los pistones en la línea de producción. Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E .....	6
<b>Figura 4.</b> Sellado en una línea de producción a escala industrial. Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E .....	7
<b>Figura 5.</b> Inspección de calidad enfocado en el tapado de las botellas. Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E.....	8
<b>Figura 6.</b> Representación gráfica del prototipo propuesto para la planta que incorpora el transporte, llenado, taponado y enroscado de las botellas. Fuente: Autoría propia .....	8
<b>Figura 7.</b> Bosquejo planteado para estructurar un sistema de visión artificial. Fuente: Artículo "Diseño de un sistema de visión artificial para la revisión del nivel de llenado de bebidas embotelladas" elaborado por German Lozano y Jairo Orduz de la UAC .....	9
<b>Figura 8.</b> Esquema de conjunción entre variador de frecuencia, motor y banda transportadora para componer al sistema de transporte en la línea de producción. Fuente: Autoría propia. ....	13
<b>Figura 9.</b> Esquema de conjunción entre compresor de aire, válvula neumática y pistón neumático para componer al sistema neumático en la línea de producción. Fuente: Autoría propia.....	14
<b>Figura 10.</b> Esquema para representar la acción de taponado de la botella. Fuente: Autoría propia .....	14
<b>Figura 11.</b> Bosqueja del proceso de comunicación general entre los dispositivos involucrados en el control de la planta. Fuente: Autoría propia .....	15
<b>Figura 12.</b> Esquema de comunicación entre el controlador lógico programable y la PC a través de la interfaz de comunicación Ethernet. Fuente: Autoría propia .....	15
<b>Figura 13.</b> Esquema de comunicación entre la PC con el algoritmo de visión artificial para inspeccionar la calidad del tapado de las botellas mediante una cámara. Fuente: Autoría propia.....	17
<b>Figura 14.</b> Pirámide de la automatización industrial con sus respectivos niveles clasificados. Fuente: .....	Autoría propia ..... 21
<b>Figura 15.</b> Protocolos más usados en la industria representados a través de la pirámide de las redes de automatización industrial. Fuente: Centro Mexicano-Frances del Conalep..	22
<b>Figura 16.</b> Familias de topologías de las redes industriales. Fuente: Industrial networks in the industry (Libro) [En línea]. Disponible en: <a href="https://www.digikey.com/es/articles/what-are-proprietary-ring-topologies-in-automation-networks">https://www.digikey.com/es/articles/what-are-proprietary-ring-topologies-in-automation-networks</a> . ....	23
<b>Figura 17.</b> Tablero para un sistema de control eléctrico comúnmente usado en la industria. Fuente: fontanerosciudadreal.es.....	24
<b>Figura 18.</b> Constitución interna de un breaker y su funcionamiento. Fuente: Electricistas.cl.....	24
<b>Figura 19.</b> Esquema de conexión para alimentar un contactor y señalización de sus componentes internos. Fuente: Biblioteca eléctrica ARG, Daniel Santa Cruz.....	25

<b>Figura 20.</b> Funcionamiento de un pulsador. Fuente: Centro Mexicano-Francés del Conalep .....	26
<b>Figura 21.</b> Ejemplo del principio de Pascal. Fuente: Libro “Tecnología neumática industrial” de Parker training .....	29
<b>Figura 22.</b> Presiones según sus tipos. Fuente: Autoría propia .....	31
<b>Figura 23.</b> Efecto combinado entre las tres variables físicas de los gases. Fuente: Libro “Tecnología neumática industrial” de Parker training .....	32
<b>Figura 24.</b> Ejemplo de circuito de energización para una electroválvula a partir de una señal digital de control. Fuente: www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/valvula_solenoide.php.....	35
<b>Figura 25.</b> Esquema para ilustrar el conjunto de elementos que componen el sistema neumático. Fuente: Autoría propia.....	36
<b>Figura 26.</b> Compresibilidad del aire ambiente. Fuente: Autoría propia.....	37
<b>Figura 27.</b> Elasticidad del aire. Fuente: Autoría propia .....	37
<b>Figura 28.</b> Difusibilidad del aire. Fuente: Autoría propia.....	37
<b>Figura 29.</b> Efecto de la expansibilidad del aire. Fuente: Autoría propia.....	38
<b>Figura 30.</b> Ejemplo: el aire caliente es más liviano o menos denso que el aire frío. Fuente: Libro “Tecnología neumática industrial” de Parker training .....	38
<b>Figura 31.</b> Efecto de la presión atmosférica en el medio que nos rodea. Fuente: Libro “Tecnología neumática industrial” de Parker training .....	39
<b>Figura 32.</b> Constitución interna de un compresor de aire genérico multipropósito. Fuente: Autoría propia .....	40
<b>Figura 33.</b> Funcionamiento interno de un compresor de aire. Fuente: Autoría propia ....	41
<b>Figura 34.</b> Elementos que componen externamente a un compresor de aire neumático. Fuente: Autoría propia .....	42
<b>Figura 35.</b> Distribución y acondicionamiento del aire comprimido. Fuente: Autoría propia .....	43
<b>Figura 36.</b> Unidad de mantenimiento neumática. Fuente: Autoría propia.....	44
<b>Figura 37.</b> Constitución interna de un motor eléctrico AC Trifásico. Fuente: Autoría propia .....	44
<b>Figura 38.</b> Composición interna y externa de un pistón neumático. Fuente: Centro Mexicano-Francés del Conalep.....	45
<b>Figura 39.</b> Representación gráfica tridimensional de una banda transportadora para una planta de llenado y taponado de botellas de agua. Fuente: grabcad.com.....	46
<b>Figura 40.</b> Interfaz humano-maquina comúnmente usada en industrias que manejan grandes procesos de producción. Fuente: automationdirect.com.....	47
<b>Figura 41.</b> Bosquejo gráfico de la estructura de una envasadora y su funcionamiento usada comúnmente en la industria de llenado de botellas. Fuente: Autoría propia .....	47
<b>Figura 42.</b> Acción de tapado y enroscado de tapa en botella a través de una maquina taponadora manual. Fuente: Autoría propia.....	49
<b>Figura 43.</b> Constitución interna de un sensor capacitivo genérico. Fuente: Autoría propia .....	50
<b>Figura 44.</b> Constitución interna de flujómetro de turbina. Fuente: Autoría propia.....	51
<b>Figura 45.</b> Estructura interna de un controlador lógico programable. Fuente: Autoría propia .....	52
<b>Figura 46.</b> Imagen ilustrativa de un controlador LOGO y sus partes externas. Fuente: Autoría propia .....	52

<b>Figura 47.</b> Esquema de comunicación para carga, recepción y transmisión de información entre PC-ESP32. Fuente: Autoría propia.....	53
<b>Figura 48.</b> Ejemplo de aspectos que puede evaluar un sistema de visión artificial en un recipiente. Fuente: keyence.com.mx.....	61
<b>Figura 49.</b> Contactor CHINT NXC-18. Fuente: Portal web del fabricante CHINT .....	68
<b>Figura 50.</b> Breaker CHINT NXB-63H. Fuente: Portal web del fabricante CHINT .....	69
<b>Figura 51.</b> Pulsadores plásticos de marcha y paro. Fuente: Sitio web oficial de CAMSCO .....	71
<b>Figura 52.</b> Luces piloto. Fuente: Portal web del fabricante CAMSCO .....	72
<b>Figura 53.</b> Pulsador paro de emergencia. Fuente: Sitio web oficial del distribuidor Direct industry .....	73
<b>Figura 54.</b> Variador de frecuencia Micro VLT. Fuente: Web oficial del fabricante Danfoss .....	74
<b>Figura 55.</b> Apariencia física de controlador LOGO.....	76
<b>Figura 56.</b> Módulo de ampliación 6ED1055-1MB00-0BA2 para controlador LOGO....	78
<b>Figura 57.</b> Módulo ESP32. Fuente: Sitio web oficial del fabricante TSMC.....	79
<b>Figura 58.</b> Motor eléctrico trifásico. Fuente: Extraído de sitio web oficial de Siemens..	80
<b>Figura 59.</b> Bomba SINGFLO-2202. Fuente: Web oficial del fabricante SINGFLO .....	81
<b>Figura 60.</b> Maquina taponadora manual. Fuente: Web oficial de ZONESUN .....	82
<b>Figura 61.</b> Cilindros de doble y simple efecto. Fuente: Web oficial del fabricante Festo	83
<b>Figura 62.</b> Flujómetro YF-S201. Fuente: Web oficial del distribuidor Naylamp Mechatronics.....	84
<b>Figura 63.</b> Sensor capacitivo. Fuente: Sitio oficial de NAYLAMP Mechatronics.....	85
<b>Figura 64.</b> Compresor de aire ajustable. Fuente: Página oficial de Festo .....	86
<b>Figura 65.</b> Unidad de mantenimiento. Fuente: Extraído de página oficial de Festo.....	87
<b>Figura 66.</b> Distribuidor neumático Tipo T. Fuente: Sitio web oficial de Festo .....	88
<b>Figura 67.</b> Válvula reguladora de presión con manómetro. Fuente: Página oficial del fabricante Festo.....	89
<b>Figura 68.</b> Válvula estranguladora. Fuente: Sitio web oficial del fabricante Festo .....	90
<b>Figura 69.</b> Mangueras neumáticas. Fuente: Sitio web oficial del fabricante Festo.....	91
<b>Figura 70.</b> Electroválvula monoestable de 5/2 vías. Fuente: Página oficial del fabricante Festo.....	92
<b>Figura 71.</b> Electroválvula biestable de 5/2 vías. Fuente: Página oficial de Festo.....	94
<b>Figura 72.</b> Válvula solenoide para fluidos ZE-4F180. Fuente: Portal oficial del distribuidor MICROJPM .....	95
<b>Figura 73.</b> Cámara genérica para PC de 1080p. Fuente: Web del fabricante Logitech... ..	96
<b>Figura 74.</b> Laptop gaming HP Pavilion 15. Fuente: Sitio web oficial del fabricante HP ..	97
<b>Figura 75.</b> Diagrama de fuerza y control del tablero eléctrico. Fuente: Autoría propia ..	98
<b>Figura 76.</b> Esquema de conexión de entradas y salidas al controlador LOGO. Fuente: Autoría propia.....	100
<b>Figura 77.</b> Esquema de conexiones al LOGO y diseño de la línea de producción para la simulación. Fuente: Autoría propia.....	101
<b>Figura 78.</b> Simulación del proceso de llenado. Fuente: Autoría propia.....	101
<b>Figura 79.</b> Simulación del proceso de sellado. Fuente: Autoría propia .....	102
<b>Figura 80.</b> Diseño de conexiones a LOGO para secuencia de movimientos de actuadores neumáticos. Fuente: Autoría propia.....	103

<b>Figura 81.</b> Esquema de conexiones en el módulo digital para la secuencia de movimientos. Fuente: Autoría propia .....	103
<b>Figura 82.</b> Actuador neumático de SA ejecutando sus movimientos de expulsión y retorno de vástago. Fuente: Autoría propia.....	104
<b>Figura 83.</b> Actuador neumático de SB ejecutando sus movimientos de expulsión y retorno de vástago. Fuente: Autoría propia.....	104
<b>Figura 84.</b> Vista frontal del modelado 3D de la banda transportadora. Fuente: Autoría propia .....	105
<b>Figura 85.</b> Vista del modelado 3D del contenedor de las tapas. Fuente: Autoría propia	105
<b>Figura 86.</b> Vista del modelado 3D de la base para el dispensado de las tapas. Fuente: Autoría propia .....	106
<b>Figura 87.</b> Vista del modelado 3D del tablero eléctrico de control del sistema automatizado. Fuente: Autoría propia.....	106
<b>Figura 88.</b> Vista frontal del modelado 3D del módulo didáctico de Festo. Fuente: Autoría propia .....	107
<b>Figura 89.</b> Vista del modelado 3D del actuador neumático de doble efecto. Fuente: Autoría propia .....	107
<b>Figura 90.</b> Vista del modelado 3D del vástago del actuador neumático de doble efecto. Fuente: Autoría propia .....	107
<b>Figura 91.</b> Fases iniciales de la construcción de la banda transportadora.....	108
<b>Figura 92.</b> Banda transportadora en fases finales de construcción .....	109
<b>Figura 93.</b> Elaboración y resultado final de piezas para colocar y posicionar actuadores neumáticos. Pieza 1 para posicionar actuador de doble efecto y Pieza 2 para posicionar actuador de simple efecto.....	110
<b>Figura 94.</b> Sensores capacitivos acoplados en las piezas elaboradas para contenerlos y ubicarlos .....	110
<b>Figura 95.</b> Pieza elaborada y usada para adaptar actuador y máquina selladora .....	111
<b>Figura 96.</b> Estructura impresa en 3D para ubicar los componentes de la etapa de llenado en el cuerpo de la banda transportadora.....	112
<b>Figura 97.</b> Módulo sin adaptar/Módulo ya adaptado al controlador y colocado en la estructura contenedora .....	112
<b>Figura 98.</b> Adquisición y armado de tablero eléctrico de control para el sistema .....	113
<b>Figura 99.</b> Motor sin conexión/Motor conectado en delta-delta .....	114
<b>Figura 100.</b> Cableado realizado para máquina taponadora .....	114
<b>Figura 101.</b> Cableado para sensores capacitivos.....	115
<b>Figura 102.</b> Conexión de elementos de neumática y electroneumática en la estructura del módulo didáctico.....	116
<b>Figura 103.</b> Componentes de la etapa de llenado de botellas montados en la estructura impresa en 3D acoplada a cuerpo de la banda .....	117
<b>Figura 104.</b> Microcontrolador ESP32 responsable de controlar el llenado ubicado en recipiente contenedor junto con el resto de conexiones y elementos del circuito.....	117
<b>Figura 105.</b> Componentes de la etapa de sellado dispuestos en el cuerpo y estructura de la banda transportadora para desempeño de sus funciones.....	118
<b>Figura 106.</b> Componente principal de la etapa de inspección de presencia/ausencia de tapas mediante visión por máquina ya posicionado adecuadamente en estructura de la banda.....	119
<b>Figura 107.</b> Asignación de dirección IP a controlador LOGO .....	120

<b>Figura 108.</b> Programación Ladder elaborada para controlador LOGO.....	121
<b>Figura 109.</b> Programación elaborada para controlar el proceso de llenado .....	122
<b>Figura 110.</b> Instalación de librerías requeridas a través del símbolo del sistema .....	123
<b>Figura 111.</b> Extracción de imágenes o muestras a través de la primera parte del algoritmo. imágenes positivas (p) con tapa e imágenes negativas (n) sin tapa.....	124
<b>Figura 112.</b> Procedimiento a seguir para dar lugar al entrenamiento del modelo con las muestras extraídas.....	124
<b>Figura 113.</b> Verificación de funcionamiento de la segunda parte del código para evaluar precisión del modelo entrenado .....	125
<b>Figura 114.</b> Realización de pruebas de movimientos mecánicos efectuados por máquina selladora en la planta.....	126
<b>Figura 115.</b> Vástago de pistón neumático expulsado. En funcionamiento adecuado ....	126
<b>Figura 116.</b> Pruebas de detección de los sensores de proximidad usando botellas llenadas y con la banda puesta en marcha.....	127
<b>Figura 117.</b> Pruebas de ajustes en parámetros requeridos para un correcto arranque de motor y puesta en marcha de la banda .....	128
<b>Figura 118.</b> Testeo de precisión en la detección de tapas colocadas en botellas con modelo que ha sido entrenado con 400 muestras. Primer testeo: No es muy preciso.....	129
<b>Figura 119.</b> Testeo de precisión en la detección de tapas colocadas en botellas con modelo que ha sido entrenado con 600 muestras. Segundo testeo: Aumento notable de precisión.....	129
<b>Figura 120.</b> Gráfico de dispersión resultante construido a partir de los datos que se extrajeron al sacar los resultados de eficiencia en el llenado.....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tabla de definiciones para las variadas medidas de presión.....	30
<b>Tabla 2.</b> Tabla de características del contactor CHINT NXC-18. Fuente: Sitio web oficial del fabricante CHINT .....	68
<b>Tabla 3.</b> Tabla de características técnicas del breaker CHINT NXB-63H. Fuente: Web oficial del fabricante CHINT .....	70
<b>Tabla 4.</b> Tabla de características técnicas de los pulsadores plásticos. Fuente: Sitio web oficial del fabricante CAMSCO.....	71
<b>Tabla 5.</b> Tabla de características del pulsador paro de emergencia. Fuente: Sitio web oficial del distribuidor Direct industry.....	73
<b>Tabla 6.</b> Características técnicas de VFD Micro VLT. Fuente: Web oficial del fabricante Danfoss .....	74
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones técnicas del controlador lógico programable LOGO V8.3. Fuente: Página oficial de Siemens .....	76
<b>Tabla 8.</b> Tabla de características técnicas del módulo de ampliación 6ED1055-1MB00-0BA2. Fuente: Portal oficial de Siemens.....	78
<b>Tabla 9.</b> Tabla de características técnicas del módulo ESP32. Fuente: Sitio web oficial del fabricante TSMC.....	79
<b>Tabla 10.</b> Características técnicas del motor trifásico. Fuente: Sitio web oficial de Siemens.....	80
<b>Tabla 11.</b> Características técnicas de la bomba FLO-2202. Fuente: Web oficial del fabricante SINGFLO.....	81
<b>Tabla 12.</b> Tabla de características técnicas de la maquina taponadora manual. Fuente: Web oficial del fabricante ZONESUN .....	82
<b>Tabla 13.</b> Tabla de características técnicas de los actuadores neumáticos. Fuente: Página oficial de Festo.....	83
<b>Tabla 14.</b> Tabla de características técnicas del flujómetro YF-S201. Fuente: Web oficial del distribuidor Naylamp Mechatronics.....	84
<b>Tabla 15.</b> Características técnicas del sensor capacitivo. Fuente: Sitio oficial de NAYLAMP Mechatronics .....	85
<b>Tabla 16.</b> Tabla de características técnicas del compresor de aire. Fuente: Página oficial de Festo .....	87
<b>Tabla 17.</b> Características técnicas del FRL. Fuente: Página oficial de Festo.....	88
<b>Tabla 18.</b> Tabla de características técnicas del distribuidor neumático tipo T. Fuente: Sitio web oficial de Festo.....	88
<b>Tabla 19.</b> Tabla de características técnicas de la válvula reguladora de presión con manómetro. Fuente: Datasheet de Festo .....	89
<b>Tabla 20.</b> Tabla de características técnicas de la válvula estranguladora. Fuente: Datasheet de Festo .....	90
<b>Tabla 21.</b> Tabla de características técnicas de la electroválvula monoestable de 5/2 vías. Fuente: Página oficial del fabricante Festo .....	92
<b>Tabla 22.</b> Tabla de características técnicas de la electroválvula 5/2. Fuente: Página oficial de Festo .....	94
<b>Tabla 23.</b> Tabla de características de la válvula solenoide de agua ZE-4F180. Fuente: Portal oficial del distribuidor MICROJPM.....	95

<b>Tabla 24.</b> Tabla de características técnicas de cámara genérica para PC de 1080p. Fuente: Sitio web oficial de Logitech .....	97
<b>Tabla 25.</b> Tabla de características técnicas de la Laptop usada para la visión por máquina. Fuente: Datasheet fabricante HP .....	97
<b>Tabla 26.</b> Tabla de resultados recopilados tras pruebas de llenado para determinar cantidades (ml) en cada iteración.....	130
<b>Tabla 27.</b> Tabla de resultados relacionada a la eficiencia de producción que genera la planta en funcionamiento .....	131
<b>Tabla 28.</b> Cantidades de muestras o imágenes que componen al dataset del primer testeo .....	132
<b>Tabla 29.</b> Porcentajes de precisión al evaluar el modelo entrenado en ambas situaciones: con tapas y sin tapas. Resultados de testeo 1 .....	132
<b>Tabla 30.</b> Cantidades de muestras o imágenes que componen al dataset del segundo testeo .....	133
<b>Tabla 31.</b> Porcentajes de precisión al evaluar el modelo entrenado en ambas situaciones: con tapas y sin tapas. Resultados de testeo 2 .....	133

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Placa de datos técnicos del motor utilizado en la planta .....	<b>144</b>
<b>Anexo 2.</b> Gastos derivados de la construcción de la banda transportadora .....	<b>145</b>
<b>Anexo 3.</b> Certificado de análisis por parte de sistema anti plagio.....	<b>146</b>

## INTRODUCCIÓN

La automatización y la integración de tecnologías sofisticadas han redefinido los estándares de eficiencia y calidad en los procesos de producción en la era actual de la industria. El sector de embotellado y envasado ha experimentado una gran transformación en este ámbito, buscando constantemente sistemas que permitan un control preciso, monitoreo continuo y una garantía absoluta de calidad en la contribución a la elaboración de sus productos.

El enfoque principal de esta tesis es el diseño e implementación de un sistema automatizado destinado a monitorear y controlar el proceso de llenado y sellado de botellas. La base detrás de este trabajo es el uso de dispositivos robustos de naturaleza industrial y el aprovechamiento del potencial y la versatilidad de la tecnología 4.0 para optimizar estos procesos cruciales.

La meta detrás de la implementación este sistema es acelerar el proceso de llenado y sellado de botellas, mientras que al mismo tiempo se busca garantizar la integridad del producto final. Para lograrlo, se ha agregado un elemento esencial: un algoritmo basado en visión por máquina. Este algoritmo se enfoca en verificar si hay o no tapas en las botellas, las cuales son un componente crucial para mantener los estándares de calidad y seguridad en la industria de envasado.

La investigación detrás de este trabajo de titulación examina el diseño detallado del sistema automatizado, destacando su capacidad para adaptarse a entornos industriales exigentes y su capacidad para controlar de manera precisa cada etapa del proceso de envasado.

La contribución principal de este trabajo reside en la integración sinérgica de tecnologías de vanguardia en un sistema consistente que no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también eleva los estándares de calidad en el envasado industrial.

# CAPÍTULO I

## 1. FUNDAMENTACIÓN.

### 1.1 Antecedentes.

La Revolución Industrial del siglo XIX dio apertura al uso de la tecnología neumática, principalmente para automatizar los procesos de fabricación. Sin embargo, aún no se usaba con frecuencia en plantas de llenado de botellas de agua.

Existen registros históricos que indican que desde inicios o mediados de la década de 1950, la conjunción entre la electrónica y la neumática, es decir, la electroneumática, empezó a consolidarse como una tecnología novedosa y de gran relevancia en la industria. Los sistemas electrónicos para la automatización de procesos industriales como el llenado de botellas fueron desarrollados por empresas pioneras como Festo y SMC Corporation.

La automatización industrial experimentó un gran avance durante la década de 1970. Los principales fabricantes de bebidas, como PepsiCo y Coca-Cola, han adoptado sistemas de llenado automatizados que utilizan tanto la tecnología únicamente neumática como la mezcla entre la electrónica y la neumática, o sea la electroneumática.

La década de 1980 fue la época en la que la inclusión de la visión artificial en la inspección de la calidad de las botellas y las tapas tuvo su auge. Cognex y otras empresas llamaron la atención en el campo del desarrollo de sistemas de visión artificial para verificar la integridad y la calidad de los productos en línea.

De acuerdo a lo que se tiene de constancia, desde la década de 1990 y en adelante, básicamente en todo el nacimiento de la industria 4.0, las plantas industriales de llenado y taponado de botellas de agua alrededor del globo han integrado tecnologías neumáticas, electroneumáticas y de visión artificial. Para aplicaciones de este tipo, fabricantes de maquinaria de gran renombre como Krones y Sidel se

han ido focalizando en proporcionar soluciones completas y avanzadas inclinadas hacia el uso y fomento de estas tecnologías.

Muchas empresas para el mejoramiento de su línea de producción optan por automatizar sus líneas de producción para lograr aumentar la productividad y acaparar el mercado con sus productos, dado que cada día surgen nuevas marcas y nuevas empresas en la industria del llenado de botellas con líquido.

Con el crecimiento de la industria de envasados de bebidas como gaseosas, agua, cerveza, aceites entre otros productos, esto conlleva a que salgan nuevas tecnologías y equipos en el llenado de envases las cuales son costosas para las pequeñas empresas, las cuales optan por automatizar sus líneas de producción puesto que en su gran mayoría sus líneas de producción son manuales y se ven en la necesidad de automatizar las mismas, para aumentar su producción y poder competir con las diferentes empresas.

En el Ecuador existen grandes empresas que se encuentran en la industria envasadora de bebidas como Coca Cola en el rubro de bebidas gaseosas y la cual es una empresa que se encuentra establecida a nivel mundial, por otro lado, también encontramos a Tesalia en el rubro de agua envasada y en el apartado de cerveza encontramos a Cervecería Nacional Pilsener. Todas estas son algunas empresas que están inmiscuidas en la industria del llenado de envases. Para que las pequeñas empresas puedan competir con las grandes empresas, las pequeñas empresas deben automatizar sus procesos para reducir tiempos de manufactura lo cual entre más tiempo se tarde representara una caída económica mayor.

El taponamiento de la botella es un proceso esencial en el envasado de líquidos que ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, debido a que protege el contenido de la botella y es por ello que existen distintos tipos de tapón para diferentes usos y dependiendo también del tipo de contenido.

A la hora del sellado o taponado de las botellas existen diversos métodos, en el taponado de botellas por lo general se lo desarrolla de forma manual lo cual conlleva más tiempo a la línea de producción perjudicando a la ganancia de la empresa y al producto final, el tapón también ayuda para evitar la contaminación del líquido con agentes externos y evita su vaporación.

En la segunda mitad del siglo XX, en concreto durante las décadas de 1960 y 1970, en plena aparición de la industria 3.0 y final de la industria 2.0, los pistones neumáticos se volvieron tendencia al empezar a utilizarse en la industria del envasado y taponado de botellas de agua. Estos dispositivos neumáticos se convirtieron en un componente crucial de las máquinas de llenado y taponado automatizadas. La neumática permitió un control preciso y rápido de los pistones utilizados para llenar botellas y taponarlas. Los pistones neumáticos cuentan con un vástago el cual se mueve de forma lineal convirtiendo la energía de la compresión del aire en movimiento del mismo, el cual se puede mover hacia adelante y hacia atrás, existen distintos tipos de pistones de simple y doble efecto, el principio básico en que se basa el funcionamiento de los pistones neumáticos es la ley de Boyle Mariotte.

En la industria del embotellado y taponado de recipientes, la implementación de un sistema de visión artificial en una línea de producción enfocada en los procesos antes mencionados para un producto como el agua embotellada se considera una solución avanzada, la cual por practicidad busca mejorar la calidad y eficiencia del proceso de taponado del envase que contiene el líquido.

## **1.2 Descripción del Proyecto.**

El presente proyecto cuenta con varias etapas las cuales son: etapa de bombeo, banda transportadora, sistema neumático, taponado e inspección de la calidad del taponado del producto.

### 1.2.1 Etapa de bombeo

En la etapa de bombeo se procede a enviar el líquido para el llenado de las botellas. En nuestro caso sería el agua, la cual va a estar almacenada en un tanque y será bombeada a las boquillas que posteriormente llenarán las botellas de agua, de forma similar a como se puede apreciar en la Figura 1, la cual ilustra la etapa de bombeo en una planta industrial que de igual forma está enfocada en el llenado y taponado de botellas.



*Figura 1. Etapa de bombeo para el llenado de botellas plásticas. Fuente: LA generadora de imágenes DALL-E*

### 1.2.2 Etapa de transporte

La banda transportadora es la encargada de transportar la botella desde el principio de la línea de producción hasta el final de la misma, llevando al recipiente contenedor a través de todas las etapas que componen a la planta. Lo planteado se asemeja a lo que se puede apreciar en la Figura 2, en donde se puede distinguir lo que sería una formación de botellas siendo transportadas a través de la línea de producción gracias a la cinta transportadora.



**Figura 2.** Línea de producción de botellas agrupada en un medio transportador (cinta transportadora). Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E

### 1.2.3 Fase de retención y alineación de botellas para el llenado

El sistema neumático con el que cuenta la planta se compone de un conjunto de pistones, en donde uno de los pistones neumáticos se encargará de no dejar pasar las botellas y alinear las mismas para que se produzca el llenado de agua, mientras que el otro pistón se encargará de subir y bajar las boquillas para dar lugar al llenado de las botellas. De forma análoga, lo que ilustra la Figura 3 se aproxima a lo que plantea el proceso de retención y alineación de las botellas mediante los pistones.



**Figura 3.** Retención y alineación de botellas mediante los pistones en la línea de producción. Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E

#### 1.2.4 Fase de taponado

El taponado de la botella consiste en colocar una tapa en la misma para evitar la contaminación del producto con agentes externos. Tal y como lo plasma la Figura 4, se puede vislumbrar cómo se realiza el taponado de las botellas mediante una máquina especializada en esta tarea usada en una planta industrial dedicada al envase y taponado de botellas.



*Figura 4. Sellado en una línea de producción a escala industrial. Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E*

#### 1.2.5 Fase de inspección de calidad del taponado

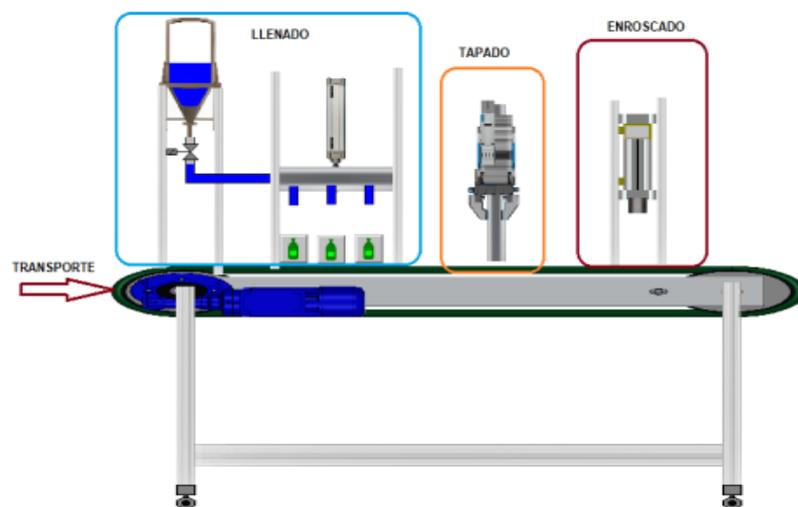
La inspección de calidad del taponado de la botella que contiene el producto se produce una vez el producto arribe al campo de visión del elemento captador, es decir, la cámara, en donde un algoritmo de procesamiento de imágenes de acuerdo a la información captada en tiempo real, analiza la posición y calidad del tapón, identificando posibles defectos derivados de un mal taponado como fugas, deformidades o un tapón poco ajustado, ejecutándose de esta manera la inspección de calidad de manera precisa y fiable en la línea de producción. Lo mostrado en la Figura 5 ejemplifica lo que capta la cámara y a que a su vez en paralelo procesa el algoritmo de visión artificial para evaluar la calidad del proceso de tapado en cada botella y emitir acciones en consecuencia.



*Figura 5. Inspección de calidad enfocada en el tapado de las botellas. Fuente: IA generadora de imágenes DALL-E*

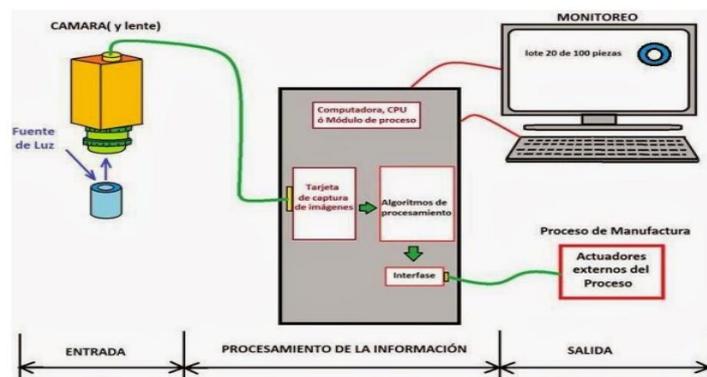
### **1.2.6 Representación de montaje definitivo del prototipo de la planta**

En lo que respecta al montaje final del prototipo de la planta, el mismo va a contar con la incorporación de las distintas fases o etapas de las que se ha hecho mención previamente, de modo que la estructura o cuerpo del prototipo de la planta se halle en óptimas condiciones para realizar pruebas iniciales y a medida que se vaya evaluando su funcionamiento, determinar si se requiere implementar mejoras o pequeños ajustes en favor de que el prototipo evolucione y adquiera un nivel de calidad aceptable. Véase la Figura 6 para observar con mayor detenimiento a través de la ilustración elaborada cómo se espera que luzca el prototipo.



*Figura 6. Representación gráfica del prototipo propuesto para la planta que incorpora el transporte, llenado, taponado y enroscado de las botellas. Fuente: Autoría propia*

Adicionalmente, el prototipo de la planta se va a ver beneficiado con la inclusión de un sistema de visión artificial compuesto por el algoritmo especializado en esta temática, la PC que soportara dicho algoritmo y el sensor o elemento captador que es la cámara. Dicho sistema estará acoplado en el prototipo puesto que también es una fase más de toda la planta y como tal también la última pues a final de cuentas este sistema de visión artificial es un filtro de revisión para verificar la calidad del taponado de las botellas. Véase la Figura 7 para apreciar con mayor detalle la composición del sistema representado a través de un diagrama.



**Figura 7.** Bosquejo planteado para estructurar un sistema de visión artificial. Fuente: Artículo "Diseño de un sistema de visión artificial para la revisión del nivel de llenado de bebidas embotelladas" elaborado por German Lozano y Jairo Orduz de la UAC

### 1.2.7 Objetivo General.

- Diseñar e implementar un sistema automatizado que controle y monitoree el taponado además del llenado de botellas utilizando dispositivos robustos industriales con tecnología 4.0 para la convergencia hacia la industria 4.0 además de la conjunción del sistema con un algoritmo que ocupa técnicas de visión por máquina para la inspección de presencia/ausencia del sellado en las botellas.

### 1.2.8 Objetivos Específicos.

- Comparar y seleccionar dispositivos robustos industriales adecuados para el control y monitoreo de llenado y taponado de botellas.
- Diseñar e implementar un prototipo de una planta de llenado y taponado de botellas para automatizar los procesos.

- Aplicar normativas y estándares nacionales e internacionales en la implementación de la planta de llenado y taponado de botellas para tener un sistema adecuado.
- Desarrollar un sistema automatizado para una planta de llenado y taponado de botellas utilizando dispositivos robustos e industriales.
- Proporcionar configuraciones, ajustes y calibraciones para todos los componentes físicos ocupados en la propuesta para garantizar un óptimo desenvolvimiento de los mismos.
- Desarrollar un algoritmo de visión artificial que realice la inspección de presencia/ausencia de tapas en las botellas.
- Evaluar la funcionalidad del algoritmo de visión artificial enfocado en la inspección de presencia/ausencia de tapas en las botellas que van a cruzar por la línea de producción.

### **1.3 Justificación.**

El presente trabajo de investigación pretende dar justificación al por qué automatizar los procesos industriales en este caso el llenado de botellas, debido a que esto permite reducir costes, reducir errores de los trabajadores, permitiendo mejorar la línea de producción, haciendo que las empresas pequeñas y las empresas recién creadas puedan ganar más mercado y mejorar su producción por ende aumentar las ganancias de la empresa.

La industria de envasado de botellas cada vez se expande más tanto para el envasado de agua, cerveza artesanal, licores, jugos entre otro producto y cada vez las empresas crecen, dando como resultados que las empresas que sus líneas de producción no producen más producto se quedan rezagadas con respecto a las demás empresas lo que genera pérdidas [1].

La automatización de nuestros procesos industriales siempre trae ventajas a la empresa debido a la reducción de tiempo en su línea de producción, optimiza el uso de la materia prima en este caso el agua, mejora la calidad del producto final y en términos generales todo esto desemboca en generar más ganancias para la empresa.

Cada día existen más avances en técnicas y tecnologías utilizadas en la automatización, tanto en la parte eléctrica, electrónica, de instrumentación, mecánica, neumática, entre otras lo cual implica que existen más herramientas a la hora de automatizar las líneas de producción [1].

Incluir algoritmos potenciados por el uso de técnicas de visión artificial en una línea de producción automatizada que está enfocada en el envasado y taponado de botellas de agua es esencialmente un aditivo que al ser incorporado en sistemas automatizados complementa la revisión del estado de la calidad de una característica o proceso realizado previamente en la planta, esto con la finalidad de que dicha labor sea realizada por medio de este filtro de aseguramiento en lugar de ser realizada por personal que bien podría encargarse de una tarea que genuinamente requiera de su intervención.

Gracias a la automatización de las líneas de producción se puede lograr una expansión de las empresas llegando así a otros mercados a lo que antes no podían llegar debido a su limitación de producción ya que su línea de producción es manual, lo cual restringe hasta cierto grado la generación de productos a lo largo del tiempo y promoviendo que se vuelva más posible la existencia de fallas en el proceso de producción, lo cual conlleva a que el producto final no cuente con una óptima calidad para el usuario final y lo que por consiguiente traería inconvenientes a la empresa o industria matriz productora [1].

#### **1.4 Alcance del Proyecto.**

El presente proyecto de envasado y taponado de botellas de agua consta en el diseño e implementación de un prototipo de un sistema de envasado y taponado de botellas automatizado, el cual consiste desde la entrada de la botella vacía, pasando por la

banda transportadora que la lleva a la sección en donde se procede a llenarla con agua y taponar las botellas, hasta por último llegar a la sección de la línea de producción en donde se da el proceso de inspección de calidad del taponado de las botellas.

El alcance de la propuesta de investigación del envasado de botellas dará a las pequeñas, medianas empresas en las cuales sus líneas de producción de envasados de botella no cuentan con sus procesos automatizados para aumentar la producción de la misma y aumentar las ganancias económicas, y de igual manera con ayuda de la inclusión del algoritmo de visión artificial para la inspección de calidad del proceso de taponado de cada botella se prevé que se agilite en gran manera la revisión de este aspecto de todas las botellas que circulen a lo largo de toda la línea de producción, consiguiendo así una satisfactoria producción y calidad de taponado que se verá asegurada gracias al algoritmo de visión artificial.

La planta automatizada contará con una HMI en la cual se podrá observar información con respecto a la misma, relacionada con el envasado de las botellas, siguiendo por supuesto las normas para el diseño de una HMI.

## **1.5 Metodología.**

El presente trabajo de titulación emplea una metodología de investigación deductiva debido que, a través de leyes, principios, normas, reglamentos y teorías dentro de la parte eléctrica, electrónica, neumática y automatización industrial, se busca demostrar de forma práctica todas las teorías, principios, normativas y reglamentos del ámbito industrial.

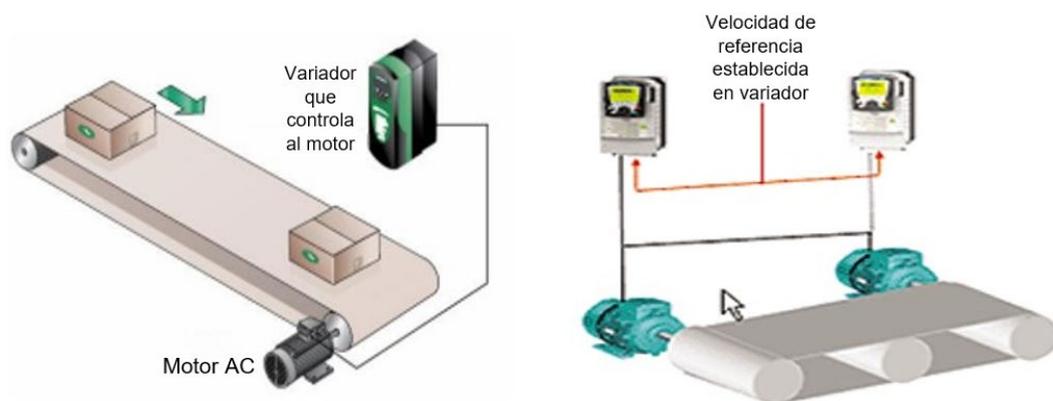
### **1.5.1 Descripción del funcionamiento**

En el presente proyecto se automatiza el proceso de llenado de botellas con agua mediante un controlador lógico programable LOGO el cual es un controlador que permite manejar de forma automática los distintos actuadores que existen en la industria, y que en el presente caso controlara un motor, válvulas y pistones mediante entradas las cuales son los sensores. Posterior al llenado de botellas y al respectivo taponado de las mismas, se efectúa un filtro de revisión de calidad

orientado al taponado de las botellas proporcionado por un algoritmo especializado en visión artificial.

### 1.5.2 Sistema de transporte para las botellas

En la banda transportadora para poder controlar la velocidad del motor y por ende la velocidad de la banda se requiere para este propósito de un variador de velocidad en el cual se puede configurar la velocidad que se requiere para la cinta de transporte. La Figura 8 establece de forma muy simplificada la esquemática para poner en funcionamiento el sistema de transporte o banda transportadora de la planta, siguiendo un orden específico para lograr este funcionamiento, siendo este variador de velocidad, motor y banda.

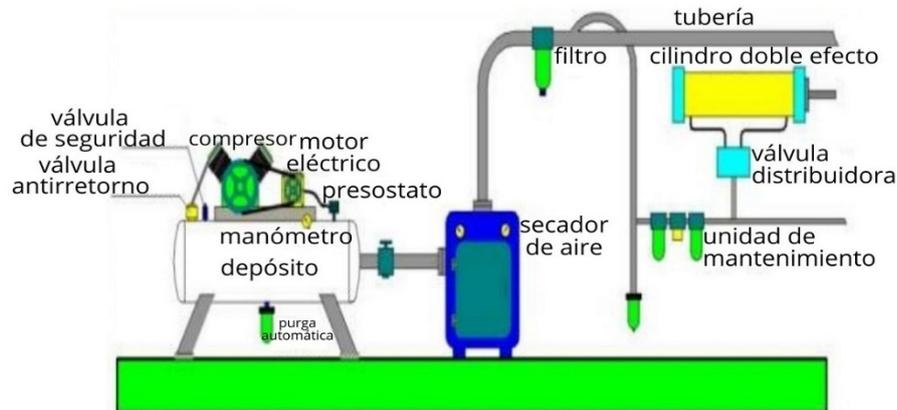


**Figura 8.** Esquema de conjunción entre variador de frecuencia, motor y banda transportadora para componer al sistema de transporte en la línea de producción. Fuente: Autoría propia.

### 1.5.3 Sistema neumático

El sistema neumático que se ha implementado en el sistema de llenado de botellas consta de varios pistones ubicados en la estructura de la banda transportadora, los distintos pistones cumplen con diferentes funciones, una de ellas es de subir y bajar las boquillas para el llenado de las botellas, otra función es la de detener las botellas vacías y que así se alineen el orificio de las botellas con el de las de las boquillas que suministran el agua. Por su lado, la Figura 9 ilustra de forma escueta el orden sucesivo a seguir de izquierda a derecha para poner en funcionamiento el sistema neumático de la planta.

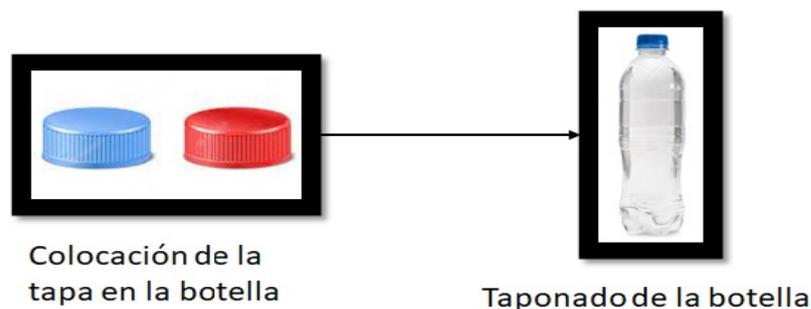
## Sistema neumático básico



*Figura 9. Esquema de conjunción entre compresor de aire, válvula neumática y pistón neumático para componer al sistema neumático en la línea de producción. Fuente: Autoría propia*

### 1.5.4 Proceso de taponado

El proceso de taponado de las botellas cuenta con un mecanismo sencillo para la colocación de las tapas en las botellas, una vez ya colocadas se procede a taponar las botellas, el proceso para el taponado de las botellas cuenta con una parte neumática para hacer presión a la tapa y poder sellar la botella. Particularmente, la Figura 10 indica el estado previo y el estado post taponado de la botella, indicando la acción a realizar a través de la máquina de taponado.

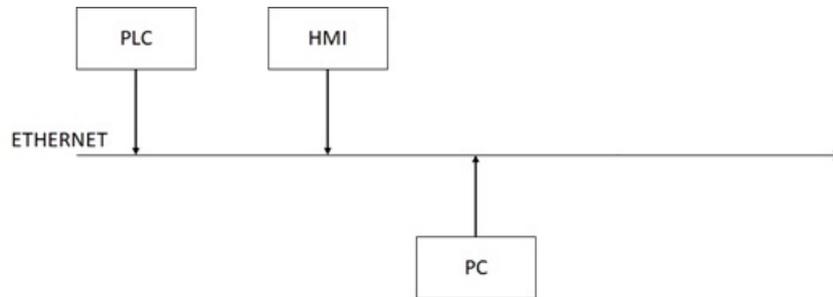


*Figura 10. Esquema para representar la acción de taponado de la botella. Fuente: Autoría propia*

### 1.5.5 Proceso de comunicación general

La comunicación entre los dispositivos, actuadores y sensores con los que el sistema de llenado cuenta, estos dispositivos están conectados mediante un tipo de red industrial que utiliza el protocolo TCP el cual sus siglas significan protocolo de control y transferencias, la cual permite transferir datos entre el PLC y el HMI.

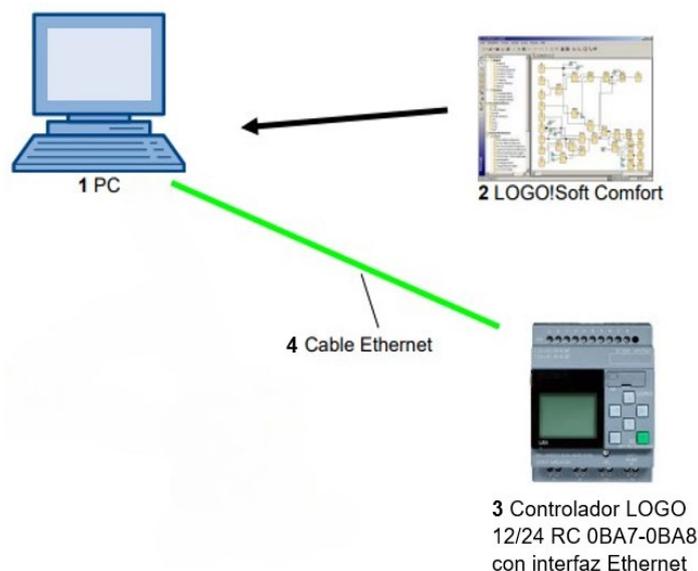
Obsérvese que en la Figura 11 se ha retratado a través de un diagrama simple, el protocolo de comunicación y los dispositivos controladores que están en dicha red de comunicación.



**Figura 11.** Bosqueja del proceso de comunicación general entre los dispositivos involucrados en el control de la planta. Fuente: Autoría propia

### 1.5.6 Proceso de comunicación PC-Controlador lógico programable LOGO

Para establecer comunicación entre el controlador lógico programable LOGO y la PC es necesario el software LOGO!Soft comfort y una PC la cual puede ser conectada vía ethernet o wifi dependiendo del equipo. La Figura 12 retrata a groso modo la forma en cómo se comunican tanto el controlador lógico programable como la PC, siendo el medio de comunicación usado la interfaz física RJ45 o cable Ethernet.



**Figura 12.** Esquema de comunicación entre el controlador lógico programable y la PC a través de la interfaz de comunicación Ethernet. Fuente: Autoría propia

### **1.5.7 Proceso de comunicación PC-sistema de visión artificial**

Para que el sistema funcione de manera efectiva y se integre con el proceso de producción, la comunicación entre el sistema de visión artificial, el PC (computadora personal) y la planta es esencial.

Las imágenes de las botellas mientras pasan por la línea de producción son capturadas por la cámara del sistema de visión artificial.

El software de procesamiento de imágenes del sistema de visión, es decir el algoritmo codificado para este propósito, analiza estas imágenes para encontrar posibles desperfectos en el taponado.

Procede a crear datos de inspección para determinar si una botella ha pasado o no la inspección de calidad del taponado. Estos datos pueden incluir el tipo de defecto si se detecta y dónde se encuentra la botella en la línea de producción.

Se encarga de transmitir los datos de inspección al PC central, dependiendo de la configuración de la planta, dicha transmisión puede realizarse por medio de una conexión de red cableada o inalámbrica.

Prosigue con la recepción y procesamiento de los datos de inspección. El software de soporte para el sistema de visión tiene la capacidad de realizar análisis en tiempo real y tomar decisiones instantáneas sobre si aceptar o rechazar botellas con un taponado defectuoso.

El sistema en el computador puede enviar señales a la planta para que detenga la línea de producción o active un mecanismo para descartar la botella defectuosa si se detecta que tal botella no es apta para pasar por el filtro de calidad que determina la presencia/ausencia de tapas. En la Figura 13 se puede observar a simple vista que la cámara que hace las veces de sensor captador para el algoritmo de visión artificial encargado de inspeccionar la calidad del tapado de las botellas, está comunicado o enlazado con la PC.



*Figura 13. Esquema de comunicación entre la PC con el algoritmo de visión artificial para inspeccionar la calidad del tapado de las botellas mediante una cámara. Fuente: Autoría propia*

## CAPÍTULO II

### 2. PROPUESTA TECNOLÓGICA

#### 2.1 Marco Contextual.

La automatización tiene un papel crucial en la industria tanto en las pequeñas, medianas y grandes empresas, ya que mediante la automatización se pueden mejorar las líneas de producción mejorar costos y tener una mayor producción en menos tiempo.

Mediante la presente investigación se desarrollan diversas situaciones a tomar en cuenta al momento de automatizar el proceso de llenado de botellas.

Al momento de automatizar el proceso de llenado de botellas se debe tomar en cuenta el tipo, tamaño y forma de la botella en el proceso debido que son factores que influyen en la forma y técnica que se realiza el llenado de botellas, con los factores antes mencionados se debe de seleccionar la técnica más óptima para el llenado de las botellas seleccionadas [2].

El tipo de líquido que se envasa también es un factor muy importante a tomar en cuenta para la selección del método de llenado, debido a que cada liquido cuenta con distintas propiedades como la viscosidad, fluidez, adherencia, tensión

superficial y densidad, entre otros factores que se debe tener presente a la hora de seleccionar el método de llenado [2].

Las condiciones de operación también se deben de tomar en cuenta como un parámetro al seleccionar que tipo de llenado se va a emplear en la planta, ya que se debe considerar la temperatura, la presión y la humedad puesto que puede llegar afectar la calidad del producto.

Los requerimientos legales también se deben tomar en cuenta la seleccionar el método de llenado ya que existen normas, reglamentos y regulaciones para el llenado de producto de acuerdo a su industria como el envasado de productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos [2].

La visión artificial es una tecnología que dota a las máquinas con la capacidad de percibir el mundo que las rodea adquiriendo vistas o imágenes del mismo e interpretando mediante procesamiento virtual lo que observan en tiempo real. Debido a que permite realizar tareas con un rango de aplicación muy amplio que se pueden considerar complejas hasta cierto punto de ser necesario realizarlas manualmente, esta tecnología se ha convertido en una herramienta de alto impacto en la inspección de calidad de los productos elaborados a nivel industrial o de planta.

La inspección de calidad es el proceso de medir, examinar y evaluar una o más características de un producto para determinar su cumplimiento con los requisitos específicos. Dicha verificación es necesaria para garantizar la seguridad, conformidad e idoneidad del producto para su uso o consumo previsto.

La sostenibilidad y el impacto ambiental se debe tener muy en cuenta en procesos industriales dado que puede influir en nuestro proceso en la utilización de la materia prima y la selección de los equipos a usar en el proceso de llenado y taponado de botellas.

## **2.2 Marco Conceptual.**

### **2.2.1 La automatización industrial**

La automatización industrial es una rama de la ingeniería que se encarga de automatizar procesos industriales y no industriales con ayuda de equipos y tecnologías para mejorar en la eficiencia, productividad y seguridad de los sistemas y procesos industriales. Es un campo de aplicación en el cual es común trabajar con sensores como sensor capacitivo, sensor ultrasónico, sensor infrarrojo, sensor de velocidad entre otros [2]. Usualmente también cuenta con actuadores los cuales pueden ser, por ejemplo, motores, bombas, luces, contactores, relés, y otros tantos. En casos muy puntuales también se le llega a integrar sistemas de control, sistemas de visión por máquina, y demás añadidos que mejoran la eficiencia en la producción y monitoreo de los sistemas.

Una de las grandes ventajas de la automatización es que mejora la calidad del producto final, acarreando una reducción de los errores a veces producidos por los obreros u operarios, mejorando así la seguridad de los mismos y reduciendo la exposición de los trabajadores a situaciones peligrosas.

### **2.2.2 Industria 4.0**

Previo a la aparición de la industria 4.0 como tal, la historia tuvo que ver pasar primero a la industria 1.0 la cual por extensión se centró en la mecanización con máquinas que trabajaban netamente a vapor, años después vio la luz la industria 2.0 la cual se focalizó enteramente en la producción en masa dependiente e íntegramente ligada con la electricidad y en una época temporal previa a la aparición de la industria 4.0, es decir el periodo de tiempo en el cual rigió la industria 3.0 se dio la inclusión de la automatización y electrónica en la producción a nivel industrial.

La industria 4.0 es una evolución de la industria la cual la cuenta con inteligencia artificial, IoT (internet de las cosas), la automatización y la robótica, esta revolución industrial se caracteriza por la interconexión y la digitalización de los procesos industriales, lo cual permite la integración de sistemas ciber físicos lo cual genera

grandes cantidades de datos y permiten a la empresa el análisis en tiempo real de los datos para la toma de decisiones [2].

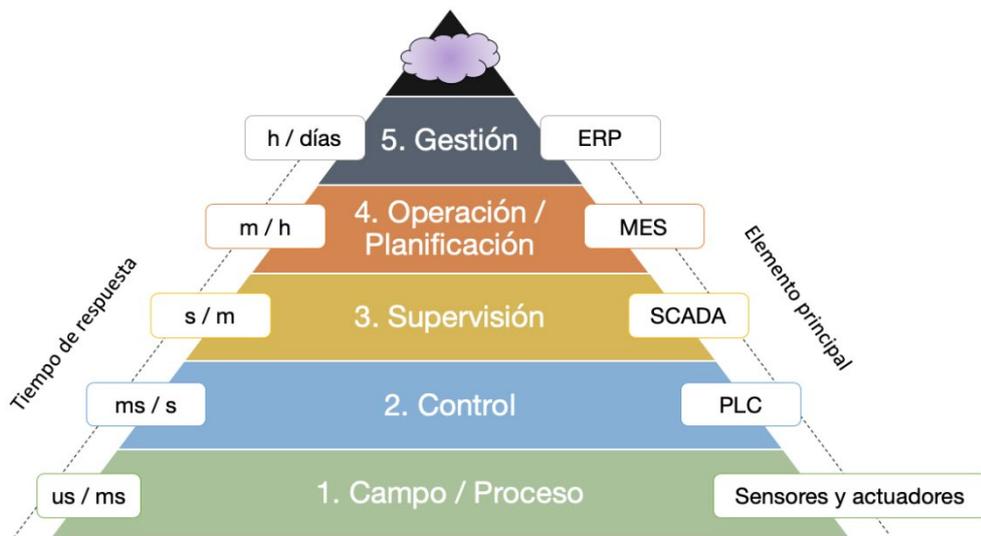
La industria 4.0 crea nuevas oportunidades de negocio y mejorar la capacidad de las empresas para adaptarse al mercado y competir en el mismo, y poder cumplir con las necesidades de los clientes.

### 2.2.3 Pirámide de automatización

La pirámide de automatización es un modelo donde se representa los distintos niveles con los que cuenta un sistema industrial, la cual cuenta con 5 niveles, y son [2]:

- **Nivel de campo.** - Este nivel es el más bajo, en donde se colocan los sensores y actuadores del proceso.
- **Nivel de célula o control.** - En este nivel se hallan robots y controladores.
- **Nivel de supervisión.** – En el presente nivel se presenta la visualización del proceso, en el cual el límite es observar o monitorear local o remotamente lo que sucede en la planta.
- **Nivel de Operación/planificación.** – En este nivel se delimita el grado de operación del sistema y la toma de decisiones sobre la planificación.
- **Nivel de gestión.** – Este nivel es el más alto de la cúspide de la pirámide en el cual se encargan de la dirección general, producción y mercadeo.

En la Figura 14 se puede apreciar de mejor manera y de forma más visual los distintos niveles que existen en la pirámide de automatización industrial, así también como los dispositivos o elementos que se pueden hallar en estos niveles, empezando desde el fondo hasta la cúspide de la pirámide.



**Figura 14.** Pirámide de la automatización industrial con sus respectivos niveles clasificados.  
Fuente: Autoría propia

#### 2.2.4 Sistemas del Internet Industrial de las cosas

El IoT o conocido como Internet de las cosas hace referencia a la interconexión entre dispositivos y equipos mediante el internet, el cual ayuda y la emisión y recepción de datos entre los equipos, los cuales permiten monitorear los datos de los distintos equipos en tiempo real.

El siguiente avance en la línea evolutiva del IOT, ha sido denominado Internet Industrial de las Cosas (IIoT), término el cual hace referencia al conjunto de tecnologías que permiten la conectividad de dispositivos presentes en entornos industriales a Internet, lo cual da pie a que se produzca el intercambio de información entre ellos y también con usuarios considerados no máquinas, es decir humanos. Según lo mencionan autores como (Wollschlaeger y col., 2017) el punto de partida para lo que hoy se conoce como cuarta revolución industrial y la aparición y posterior estandarización de la terminología industria 4.0, fue la creación e integración de tecnologías como el Internet industrial de las cosas.

El Internet industrial de las cosas (IIoT) utiliza sensores, actuadores y otros dispositivos conectados para recopilar información de personas, procesos y máquinas en tiempo real. Estos datos se utilizan para aumentar la productividad, la eficiencia y la seguridad de las operaciones industriales. La posibilidad de

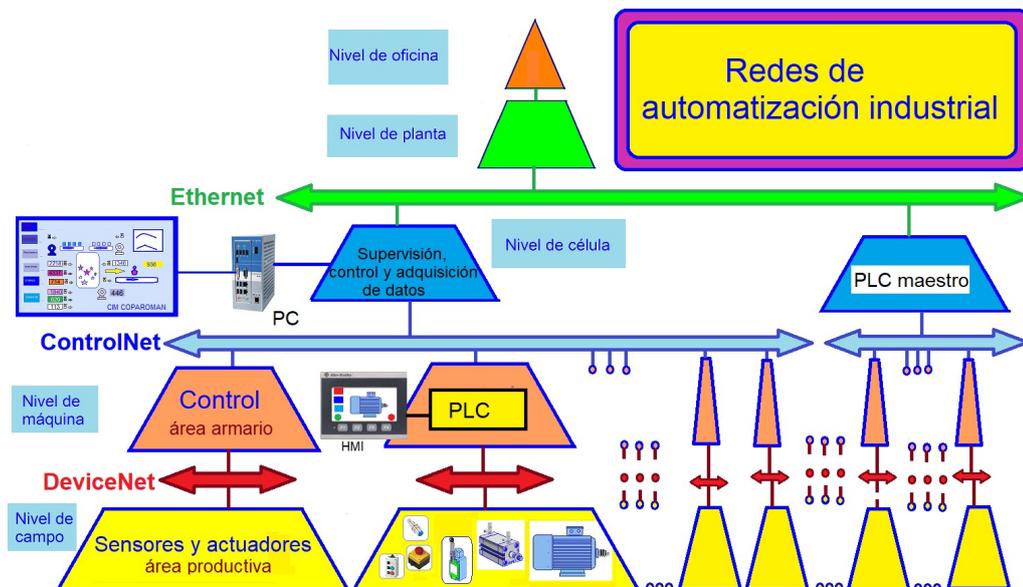
supervisar una planta desde cualquier parte del mundo usando un navegador web tradicional es una de las principales aplicaciones del Internet industrial de las cosas (IIoT) [3].

### 2.2.5 Redes de comunicación industrial

Los sistemas de redes industriales son un sistema de comunicación, los cuales se encargan de comunicar los distintos equipos utilizados en la producción, para la transmisión de datos en tiempo real para el respectivo control y supervisión de los procesos.

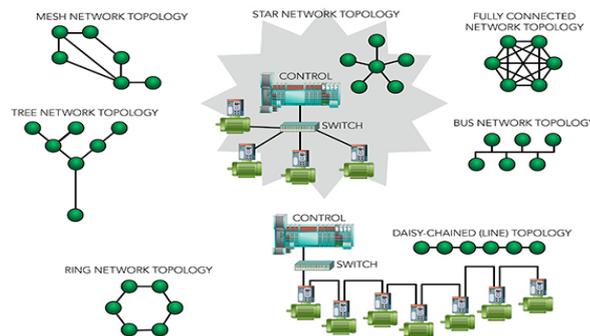
Existen distintos tipos de redes industriales algunas de estas son desarrolladas por las mismas marcas de los equipos, entre las redes más conocidas tenemos Ethernet industrial, Profibus, Modbus, CANopen, DeviceNet, entre otras, las distintas redes usan normativas y protocolos para cada tipo de red [3].

En la Figura 15 adjunta es posible visualizar desde una mejor perspectiva qué protocolos son los más comunes en el ámbito industrial y cuáles dispositivos normalmente se puede llegar a topar uno en cada nivel con su respectivo protocolo de comunicación.



**Figura 15.** Protocolos más usados en la industria representados a través de la pirámide de las redes de automatización industrial. Fuente: Centro Mexicano-Frances del Conalep

En lo que respecta a los tipos de topologías de las redes industriales, se hace referencia a que estas son las formas en las que se dispone la interconexión de los distintos dispositivos y demás componentes en un entorno o ámbito industrial [3]. Al remitirse a este caso en particular, se ha optado por armar una red de intercomunicación de topología tipo bus, en la cual todos los dispositivos de la planta se hallarán conectados a un único cable principal. En la Figura 16 se puede apreciar con mayor detalle los tipos de topologías que más se usan en la industria.

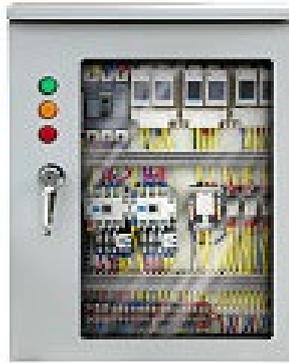


**Figura 16.** Familias de topologías de las redes industriales. Fuente: *Industrial networks in the industry (Libro)* [En línea]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/articles/what-are-proprietary-ring-topologies-in-automation-networks>.

### 2.2.6 Sistema de control eléctrico

El sistema de control eléctrico hace referencia al uso de dispositivos para controlar el funcionamiento de los diversos equipos eléctricos como motores, bombas, pistones, entre otros actuadores.

El control eléctrico es utilizado en amplias aplicaciones industriales y no industriales que va desde el encendido y apagado de una bomba hasta sistemas más complejos, el control eléctrico es indispensable a la hora de automatizar y para el control de equipos eléctricos. Véase en la Figura 17 un tablero de referencia que contiene un sistema de control eléctrico compuesto de todos los elementos requeridos para elaborar un tablero con estas características.



*Figura 17. Tablero para un sistema de control eléctrico comúnmente usado en la industria. Fuente: fontanerosciudadreal.es*

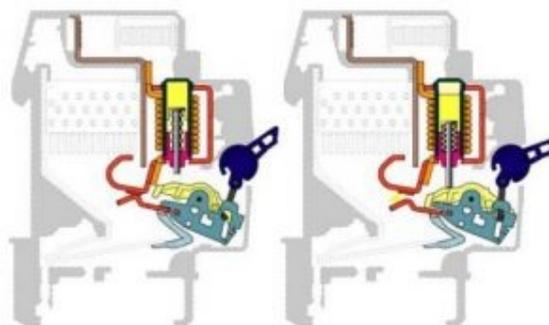
### **2.2.6.1 Breaker**

Los interruptores termomagnéticos también conocidos como breakers se utilizan en un tablero de control para proteger los circuitos eléctricos que alimentan a los equipos y dispositivos.

El funcionamiento de un breaker es muy simple. El interruptor se abre cuando la corriente eléctrica que pasa por él supera el valor nominal del interruptor. Esto evita daños a la instalación eléctrica o incendios.

Los breakers se instalan en una barra de distribución en un tablero de control, que es un conductor eléctrico que proporciona corriente a varios circuitos. Cada breaker está conectado a un circuito específico, y el circuito se puede conectar o desconectar mediante el interruptor del breaker [2].

En la Figura 18 adjunta a continuación se presenta la representación del funcionamiento de un breaker internamente así como la constitución interna de este mismo.



*Figura 18. Constitución interna de un breaker y su funcionamiento. Fuente: Electricistas.cl*

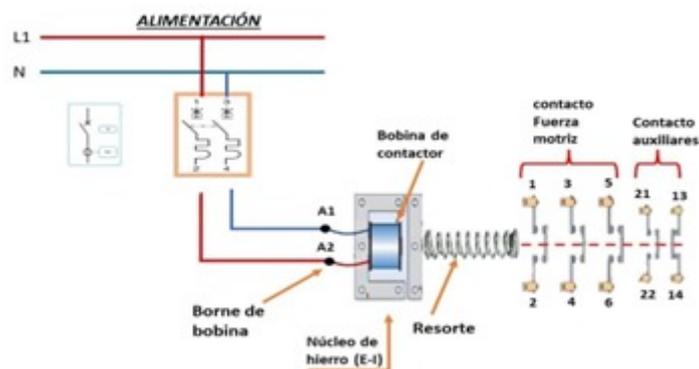
### 2.2.6.2 Contactor

Un contactor es un elemento electromecánico que regula el flujo de corriente eléctrica. En un tablero de control permite conectar o desconectar un dispositivo eléctrico, como, por ejemplo, un motor o una lámpara.

Si se habla de su funcionamiento, este se basa en que la energía de la bobina del contactor provoca un campo magnético que atrae al núcleo del contactor. Esto provoca que el núcleo conecte o desconecte el circuito eléctrico y mueva los contactos del contactor [4].

Los contactores tienen la capacidad de interrumpir corrientes de gran magnitud y están contruidos para soportar altas cargas eléctricas. Por lo que, en un tablero de control, este elemento es de gran ayuda, principalmente porque permite controlar de forma segura y eficiente el flujo de corriente eléctrica.

En la Figura 19 adjunta se alcanza a apreciar un esquema de conexión básico para alimentar un contactor adecuadamente, así como la etiqueta de cada uno de sus componentes internos.



*Figura 19. Esquema de conexión para alimentar un contactor y señalización de sus componentes internos. Fuente: Biblioteca eléctrica ARG, Daniel Santa Cruz*

### 2.2.6.3 Pulsadores

Los dispositivos conocidos como pulsadores se utilizan para transmitir una señal eléctrica a un circuito. Los pulsadores se utilizan en un tablero de control para controlar el funcionamiento de los equipos o máquinas, mayormente para mandarlos a ponerse en marcha o a detenerse.

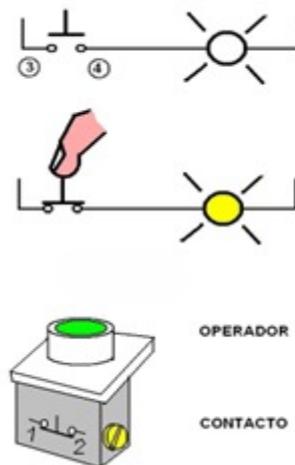
En cuanto a su funcionamiento, estos elementos cuando se hallan cumpliendo su función tienen su circuito cerrado, lo cual desencadena que se provoque la transmisión de una señal al circuito controlado. La señal se puede usar para encender o apagar un equipo, iniciar o detener un proceso, o cambiar un ajuste.

Los pulsadores se dividen en dos categorías principales: pulsadores de retención y pulsadores momentáneos.

Solo cuando se presiona un botón, los pulsadores momentáneos se activan. La señal se apaga cuando se suelta el pulsador.

Por otro lado, cuando se presionan, los pulsadores de retención se activan y permanecen presionados. La señal sigue activa cuando se suelta el pulsador porque el circuito está cerrado [4].

En la Figura 20 se representa el funcionamiento de un pulsador mediante dibujos ilustrativos y simbología.



*Figura 20. Funcionamiento de un pulsador. Fuente: Centro Mexicano-Francés del Conalep*

### 2.2.7 Neumática

El término "neumática" proviene del griego "pneumos" o "pneuma", que significa "respiración" o "soplo", y se refiere a la sección de la física que se ocupa de la dinámica y los fenómenos físicos relacionados con los gases o vacíos. Además, examina cómo los elementos de trabajo correspondientes conservan la energía neumática.

La neumática industrial es una tecnología que utiliza aire comprimido para mover y poner en funcionamiento mecanismos. Es una tecnología fiable, segura y de alto rendimiento con una amplia gama de aplicaciones en un gran número de rubros a nivel industria como lo son la construcción, transporte y producción a gran escala de ciertos productos [4].

Debido a su fácil aplicación y bajo costo de instalación, la neumática ocupa un lugar merecido en la industria moderna. Muchas industrias y mecanismos la utilizan sin discriminación. Al igual que la energía eléctrica, esta tecnología es fácilmente accesible en la mayoría de las empresas o pequeños talleres de producción [4].

La neumática se ha empezado a volver estándar hace relativamente no mucho tiempo, siendo así utilizada ampliamente en el campo industrial de la era actual. Al igual que otras formas de transmisión de energía, se ha desarrollado gradualmente hasta alcanzar su nivel actual de utilización. Su alcance se ha expandido continuamente. No hace mucho tiempo, en el mercado solo se podía encontrar el cilindro tradicional, algunas válvulas eléctricas y muy poco más. A pesar de la falta de recursos, se crearon numerosos mecanismos utilizando la fuerza directa del cilindro en algunos casos y alterando el movimiento lineal en otros.

Los controles neumáticos son relativamente insensibles a golpes y vibraciones debido a su robustez. Como resultado de lo último mencionado, las acciones mecánicas del proceso sirven como señales para las diferentes secuencias de operación. Hay que destacar también que los equipos neumáticos requieren de un mantenimiento poco laborioso por lo que no habría complicaciones a la hora de efectuar un mantenimiento en este tipo de equipos.

La rapidez de los movimientos neumáticos y la liberación del trabajador, en este caso un operario, de realizar tareas repetitivas aumentan el ritmo de trabajo, la productividad y, por lo tanto, los costos de operación se ven aminorados en gran medida.

Una ventaja muy notable de los controles neumáticos es que son increíblemente sencillos de implantar puesto que requieren nada más que de pequeñas modificaciones en las máquinas convencionales y la disponibilidad de aire

comprimido para ponerlos en funcionamiento, de modo que, si se cumple con estos dos requisitos ya se puede contar con un control neumático de alta eficiencia en un sistema [4].

Actualmente, la neumática permite alcanzar cualquier nivel de automatización. El grado de automatización dependerá de las necesidades de la máquina y el costo. El sistema más básico puede consistir en un cilindro de doble efecto controlado por una válvula de accionamiento manual que el operador maneja para dar salida al vástago o hacerlo retroceder.

Es posible avanzar en la automatización del cilindro mediante la asignación de una sola orden de avance al vástago para que llegue al final de su carrera y regrese automáticamente al origen.

Alternativamente también se puede conseguir de manera sencilla que el vástago realice movimientos de entrada y salida alternativos de forma repetitiva con solo una orden de inicio del ciclo.

Hoy en día, el control del aire ofrece los niveles más altos de eficiencia, lo que permite realizar operaciones sin agotamiento, ahorrando tiempo, herramientas y materiales, además de aumentar la seguridad en el lugar de trabajo [4].

### **2.2.8 Electroneumática**

Para controlar sistemas neumáticos, la electrónica y la neumática se combinan, dando origen a la tecnología que se conoce como electroneumática. Esta facilita la automatización de máquinas y procesos, aumentando la eficiencia y la precisión en los mismos.

Un sistema electroneumático, es aquel donde la parte neumática hace uso del aire comprimido para otorgarle movimiento a los actuadores, mientras que la parte electrónica controla el flujo de aire. Las válvulas electromagnéticas, por ejemplo, pueden lograr esto abriéndose y cerrándose, esto como respuesta a una señal eléctrica [5].

## 2.2.9 Principios físicos

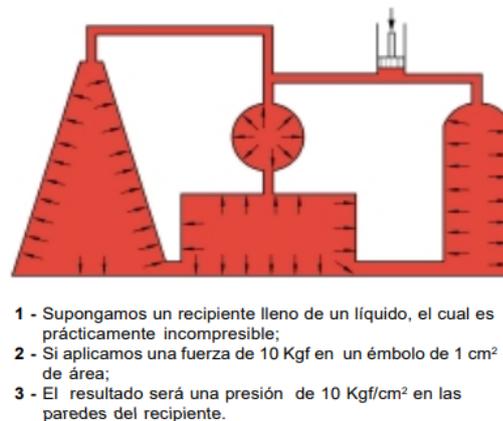
A continuación, se proceden a desglosar los principios físicos que influyen en la implementación del sistema automatizado a través de ecuaciones y formulaciones matemáticas que sustentan dichos principios o fundamentos.

### 2.2.9.1 Principio de Pascal

La acción de pequeñas fuerzas puede denotar que el aire es un medio altamente compresible. El aire ejerce una presión uniforme sobre las paredes de un recipiente cerrado, lo cual es un fenómeno físico muy común cuando se habla de presión [4].

Según lo enunció Blaise Pascal alguna vez: “una presión estática sobre un líquido confinado tiene un impacto igual en todas las direcciones y sentidos, ejerciendo fuerzas iguales en áreas iguales”.

En la Figura 21 se presenta una ilustración que hace alusión al principio de Pascal a través de un ejemplo simple.



**Figura 21.** Ejemplo del principio de Pascal. Fuente: Libro “Tecnología neumática industrial” de Parker training

En terminología básica, la presión se puede denotar como la relación fuerza-área para un determinado objeto y se ve reflejada en la siguiente expresión matemática:

$$P = \frac{F}{A} \dots \dots (\text{Ec. 1})$$

En donde: P->Presión (usualmente expresada en Newton/m<sup>2</sup>), F->Fuerza (usualmente expresada en Newtons) y A->Área (usualmente expresada en m<sup>2</sup>).

En la Tabla 1 adjunta a continuación se presentan las definiciones para cada unidad de medida de presión que se conoce.

*Tabla 1. Tabla de definiciones para las variadas medidas de presión*

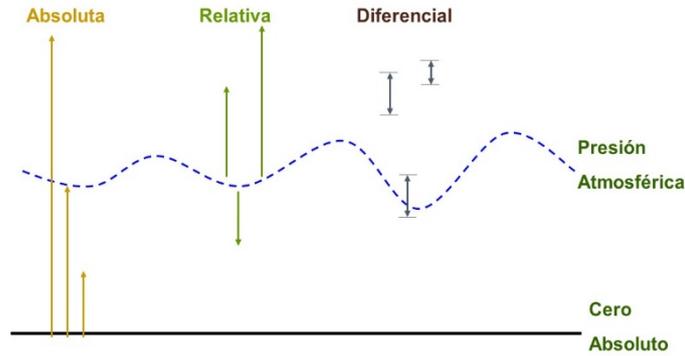
<b>Unidad</b>	<b>Símbología</b>	<b>Definiciones</b>
Pascal (Pa)	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
Kilopascal (kPa)	kPa	1 kPa = 1000 Pa
Megapascal (MPa)	MPa	1 MPa = 1000 kPa
Gigapascal (GPa)	GPa	1 GPa = 1000 MPa
Atmósfera (atm)	atm	1 atm = 101325 Pa
Bar	bar	1 bar = 100 kPa
Milímetro de mercurio (mmHg)	mmHg	1 mmHg = 133,322 Pa
Pulgada de mercurio (inHg)	inHg	1 inHg = 33,86389 mmHg

De la anterior tabla se puede destacar que no se sugiere hacer uso de la unidad de medida del Pascal y en su lugar sustituirla por el uso del Bar cuando se quiere definir un valor medido de presión puesto que por norma es lo más común de hacer.

En cuanto a la presión, esta se halla seccionada por tipos, entre los cuales los principales son:

- ❖ **Presión absoluta:** Se la considera como la presión ejercida sobre un cuerpo, integrando a la presión de la atmosfera. Se mide por lo común en Pascales (Pa).
- ❖ **Presión relativa:** Se la considera como la presión dispuesta sobre un cuerpo, omitiendo por completo a la presión atmosférica. Se mide por lo común en Pascales (Pa) o en milímetros de Mercurio (mmHg).
- ❖ **Presión de vacío:** La presión de vacío, también conocida como presión negativa o presión baja, es la presión en un lugar que se halla por debajo de la presión atmosférica.

La Figura 22 de a continuación esquematiza de forma muy básica cómo se comportan los diferentes tipos de presiones en el medio.



**Figura 22.** Presiones según sus tipos. Fuente: Autoría propia

### 2.2.9.2 Caudal

Al caudal se le conoce como la cantidad de fluido (como líquidos o gases) que fluye a través de un sistema durante un período de tiempo específico. El caudal puede medirse y expresarse en una variedad de unidades dependiendo de la aplicación y el tipo de fluido [4]. Usualmente se suele expresar en términos de unidades de medida en L/s o m<sup>3</sup>/h. La expresión matemática que define y ayuda a determinar el caudal es la siguiente y ocupa una de las variables de la expresión usada para determinar la presión explorada con anterioridad:

$$Q = A \times V \dots \dots \text{(Ec. 2)}$$

En donde: Q->Caudal (usualmente expresado en L/s o m<sup>3</sup>/h), A->Área de sección transversal (usualmente expresada en m<sup>2</sup> o ft<sup>2</sup>) y V->Velocidad del flujo (usualmente expresada en m/s o ft/s).

### 2.2.9.3 Ley general de los gases perfectos o ideales

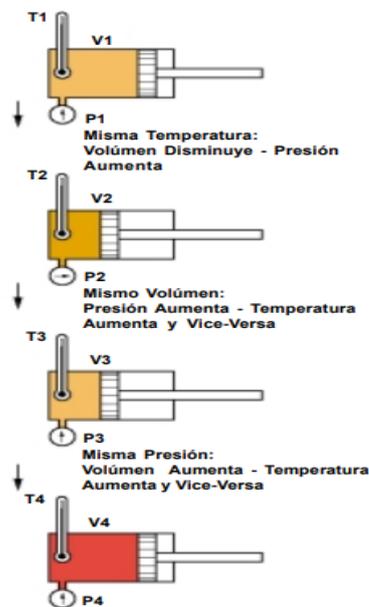
Las transformaciones de estado son aquellas en las que una de las variables físicas permanece constante, esto según las leyes de Boyle-Mariotte, Charles y Gay Lussac [4].

En la mayoría de los casos, la transición de un estado a otro implica una relación entre todos los demás estados previos, por lo que la relación generalizada matemáticamente expresada se presenta de la siguiente manera:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots \dots \text{(Ec. 3)}$$

En donde:  $P_1$  y  $P_2$ ->Presiones de los gases 1 y 2 respectivamente (usualmente expresadas en Bar),  $V_1$  y  $V_2$ ->Volúmenes de los gases 1 y 2 respectivamente (usualmente expresados en L o  $m^3$ ) y  $T_1$  y  $T_2$ -> Temperaturas de los gases 1 y 2 respectivamente (usualmente expresadas en °C, °F o °K).

La relación antes expuesta indica que se conocen las tres variables del gas. Por lo tanto, es posible predecir el impacto de una alteración en cualquiera de las variables. En la Figura 23 se puede apreciar de mejor manera como se relacionan cada una de estas variables mediante una ilustración.



**Figura 23.** Efecto combinado entre las tres variables físicas de los gases. Fuente: Libro “Tecnología neumática industrial” de Parker training

### 2.2.9.4 Energía neumática

Los principios mecánicos y termodinámicos están involucrados en la definición matemática de la energía neumática. La siguiente ecuación se puede usar para encontrar la energía en el aire comprimido e involucra a dos de las variables fundamentales de la expresión matemática que describe la ley de los gases perfectos:

$$E = P \times V \dots\dots (Ec. 4)$$

En donde:

- E es la energía neumática en julios (J).
- P es la presión del aire comprimido en pascales (Pa).
- V es el volumen del aire comprimido en metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

Según lo que establece la ecuación antes descrita, la energía neumática es directamente proporcional a la presión del aire comprimido y al volumen de aire comprimido disponible. La presión y el volumen de aire aumentan con la energía almacenada, lo que aumenta la capacidad de trabajo mecánico [5].

### 2.2.9.5 Potencia Neumática

Es la energía producida por el flujo controlado de aire comprimido a través de un sistema que se utiliza para realizar una variedad de tareas mecánicas, como mover objetos, perforar, operar herramientas neumáticas, etc.

La siguiente fórmula se puede usar para calcular la potencia neumática y hace uso de las variables que están involucradas en la formulación de la energía neumática:

$$N = \frac{P \times V}{T} \dots \dots \text{(Ec. 5)}$$

En donde:

- Presión (P) se mide en unidades de presión (generalmente en pascales o psi, libras por pulgada cuadrada).
- Volumen (V) se mide en unidades de volumen (generalmente en metros cúbicos o litros).
- Tiempo (t) se mide en segundos.

Esta fórmula utiliza la presión como la fuerza del aire comprimido, el volumen como la cantidad de aire comprimido utilizada y el tiempo como el tiempo durante el cual se realiza el trabajo. Dependiendo del sistema de unidades utilizado, la unidad de medida resultante será una unidad de potencia, como vatios (W) o caballos de fuerza (HP) [5].

### 2.2.9.6 Electromagnetismo

El electromagnetismo es un campo de la física que estudia cómo interactúan los campos magnéticos y las cargas eléctricas. El electromagnetismo es esencial para

el funcionamiento de dispositivos y sistemas que utilizan energía eléctrica, para controlar componentes neumáticos como cilindros y válvulas en neumática y a su vez hacer lo propio en la electroneumática.

Al crear campos magnéticos a través de solenoides y detectar objetos metálicos a través de sensores inductivos, el electromagnetismo juega un papel importante en la neumática y la electroneumática. Estos principios electromagnéticos son cruciales para el funcionamiento eficiente y preciso de sistemas que combinan electricidad y aire comprimido, de modo que se da apertura a que se puedan realizar una variedad de tareas en la automatización industrial y otros campos [5].

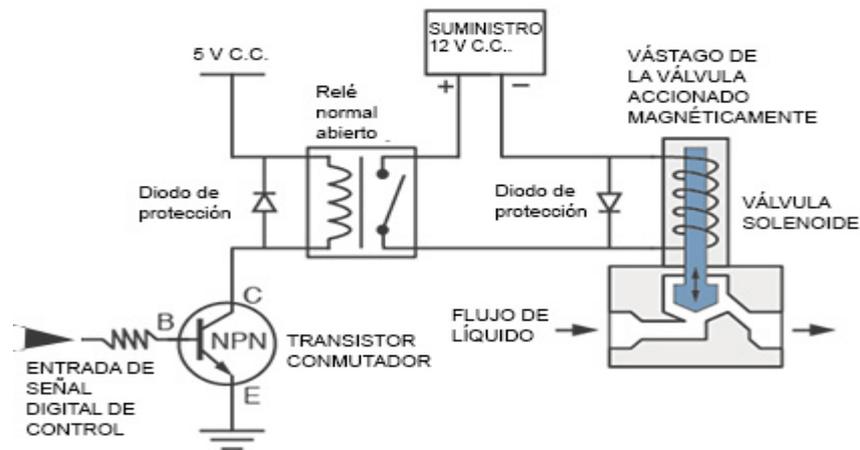
### **2.2.10 Válvula**

Una válvula es un dispositivo que permite el control de flujos como líquidos o gases a través de conductos, así como estas válvulas permiten el ingreso de los flujos también los puede controlar para que, por ejemplo, cierta cantidad de flujo ingrese.

Cuando la válvula está abierta, el líquido fluye a través de un orificio en su cuerpo. En el otro extremo del émbolo, la aguja o vástago que abre y cierra el puerto de la válvula se conecta directamente a la parte baja del émbolo. El vástago o aguja tiene una superficie con una cualidad sellante. Al energizar o desenergizar la bobina solenoide de esta manera, se puede abrir o detener el flujo. Todas las válvulas solenoides están basadas en este principio magnético mencionado y es el cimiento para dar lugar a su creación.

Las válvulas sirven para diversos procesos industriales como para el llenado de fluidos en ciertos recipientes, para el control de presión y control de temperatura, las diversas industrias en las que las utilizan son las siguientes, farmacéutica, química, alimentaria petroquímica, entre otras [6].

En la Figura 24 adjunta se muestra el circuito de energización para una electroválvula a partir de una señal digital de control.



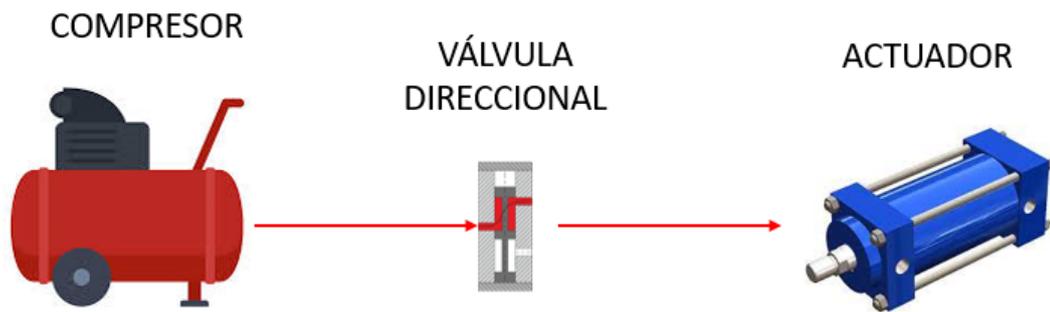
**Figura 24.** Ejemplo de circuito de energización para una electroválvula a partir de una señal digital de control. Fuente: [www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/valvula\\_solenoides.php](http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/valvula_solenoides.php)

### 2.2.11 Sistema de actuadores neumáticos

Un sistema neumático es aquel sistema que hace uso del aire comprimido para la utilización de diversos equipos y realizar diversas tareas, por lo general se utiliza la energía que produce el aire comprimido para convertir en energía mecánica de los diferentes equipos que se utilice en sistema como pistones, cilindros, motores neumáticos, entre otros [6].

El sistema neumático consta de tres componentes principales para que funcione de una manera adecuada y los cuales son un compresor el cual es el encargado de comprimir y suministrar el aire comprimido, red de tuberías las cuales es la encargada de transportar el aire a los diversos dispositivos para su posterior uso en las diversas tareas a realizar.

En la Figura 25, se puede apreciar la forma secuencial en la que se deben poner en funcionamiento los elementos que componen al sistema neumático, empezando por accionar el compresor, ajustar la válvula direccional y probar los movimientos del pistón o actuador neumático.



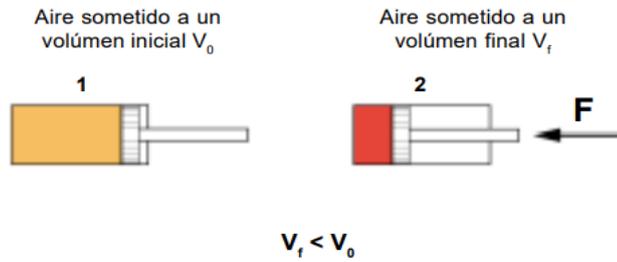
**Figura 25.** Esquema para ilustrar el conjunto de elementos que componen el sistema neumático.  
Fuente: Autoría propia

### 2.2.12 Propiedades físicas del aire ambiente

El aire es una mezcla de gases que forma la atmósfera de la Tierra y la rodea. Tiene muchas características físicas importantes que lo hacen esencial para la vida y muchos procesos naturales.

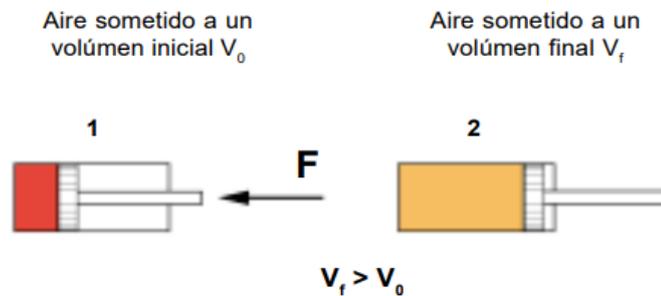
Percibimos el aire, aunque es insípido, inodoro e incoloro, a través de los vientos, los aviones y los pájaros que en él flotan y se movilizan; y a su vez también sentimos el efecto que tiene en nuestro cuerpo [4]. Es sencillo llegar a la conclusión de que el aire tiene un lugar real y concreto en el espacio que nos rodea. Entre algunas de las propiedades físicas que posee el aire ambiente están:

- **Compresibilidad:** El aire, así como todos los gases, puede tomar forma cuando ocupa todo el volumen de un recipiente. Por lo tanto, podemos encerrarlo en un recipiente con un volumen determinado y hacer que su volumen del aire encerrado disminuya manifestándose así una de sus propiedades, la cual es la compresibilidad [4]. Entonces expuesto lo anterior podemos enunciar que cuando el aire está sujeto a la acción de la fuerza exterior, puede reducir su volumen, el cual es un efecto que se puede ver ejemplificado en la Figura 26 adjunta.



**Figura 26.** Compresibilidad del aire ambiente. Fuente: Autoría propia

- **Elasticidad:** Propiedad que, una vez que desaparece el efecto (fuerza) responsable de la reducción del volumen, permite que el aire vuelva a su volumen inicial [4]. Este principio se puede ver ejemplificado de mejor manera en la Figura 27 adjunta.



**Figura 27.** Elasticidad del aire. Fuente: Autoría propia

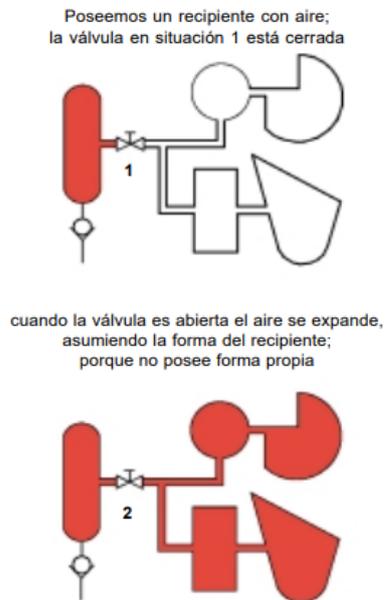
- **Difusibilidad:** Es la propiedad del aire que le permite unificarse uniformemente con cualquier medio compuesto de gas no saturado [4]. Este principio se puede ver ejemplificado de mejor manera en la Figura 28 adjunta.



**Figura 28.** Difusibilidad del aire. Fuente: Autoría propia

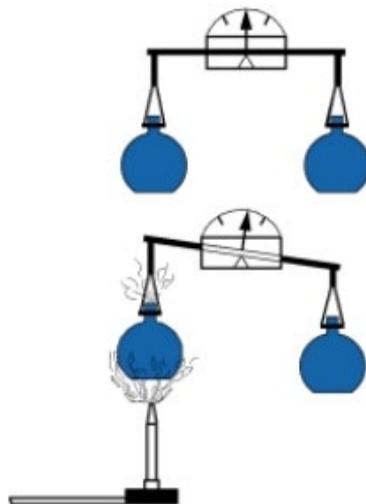
- **Expansibilidad:** Es la propiedad del aire que le permite a este tomar todo el espacio volumétrico de cualquier elemento contenedor y derivado de esto puede adaptarse y adquirir la forma de este elemento contenedor [4]. Este

principio se puede ver ejemplificado de mejor manera en la Figura 29 adjunta.



*Figura 29. Efecto de la expansibilidad del aire. Fuente: Autoría propia*

- **Peso del aire:** El peso del aire ejerce una fuerza hacia abajo sobre la superficie terrestre. La gravedad atrae las moléculas de aire hacia el centro de la Tierra, lo cual se conoce como peso del aire [4]. En la Figura 30 adjunta se ilustra un ejemplo en el cual se denota lo que es el peso del aire.



*Figura 30. Ejemplo: el aire caliente es más liviano o menos denso que el aire frío. Fuente: Libro “Tecnología neumática industrial” de Parker training*

- **Presión atmosférica:** La atmósfera ejerce sobre nosotros una fuerza equivalente a su peso, pero no la sentimos porque actúa con la misma

intensidad en todos los sentidos y direcciones. El peso de la columna de aire encima de nosotros ejerce una presión sobre la superficie terrestre. Al nivel del mar, la presión atmosférica típica es de 101.3 kilopascales (kPa) o 1 atmósfera (atm) [4]. En la Figura 31 adjunta se ejemplifica el efecto de la presión atmosférica de forma más gráfica.

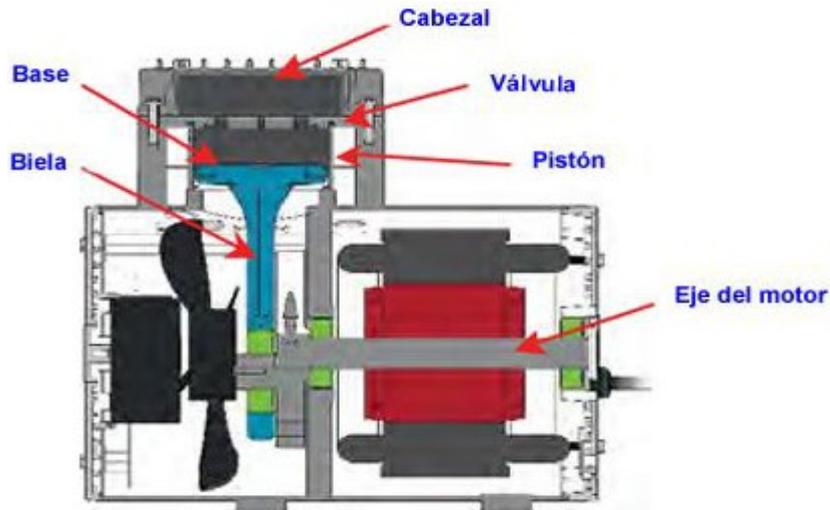


**Figura 31.** Efecto de la presión atmosférica en el medio que nos rodea. Fuente: Libro “Tecnología neumática industrial” de Parker training

### 2.2.13 Constitución interna de un compresor de aire

Un compresor de aire es un dispositivo que aumenta la presión de un gas, particularmente el aire. Su principal función es comprimir el aire que se halla a una presión atmosférica normal, proceder a aumentar dicha presión y la concentración de moléculas en un espacio más contenido. Esto produce un flujo de aire a una alta presión, lo cual se puede utilizar para una amplia gama de labores domésticas, comerciales e industriales [6].

Véase en la Figura 32 adjunta la ilustración de un compresor de aire genérico multipropósito en el cual se señalan las partes internas que lo constituyen y que permiten su óptimo funcionamiento.



*Figura 32. Constitución interna de un compresor de aire genérico multipropósito. Fuente: Autoría propia*

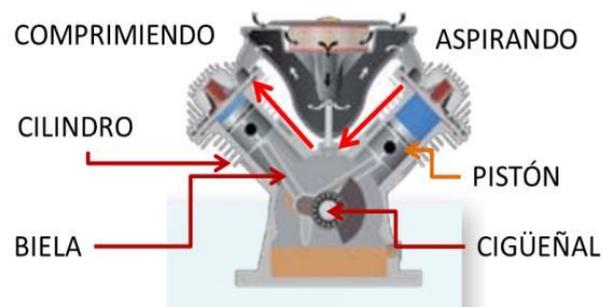
Ahora bien, las siguientes partes principales componen internamente un compresor de aire para un sistema neumático:

- **Cilindro:** Es un contenedor hueco al interior del cual se contiene el aire que se comprime.
- **Pistón:** Es un objeto móvil que realiza un movimiento dentro del compresor para poder dar lugar a la compresión del aire.
- **Válvulas de succión y descarga:** Son dispositivos que permiten que el aire ingrese y salga del cilindro.
- **Cigüeñal:** Es el eje a través del cual se transmite el movimiento del motor al pistón.
- **Biela:** es el elemento conector que enlaza el pistón al cigüeñal.
- **Motor:** Elemento que dota o proporciona la energía requerida para lograr el movimiento del pistón.

Un compresor de aire también puede tener otros componentes adicionales además de los componentes principales ya mencionados, como:

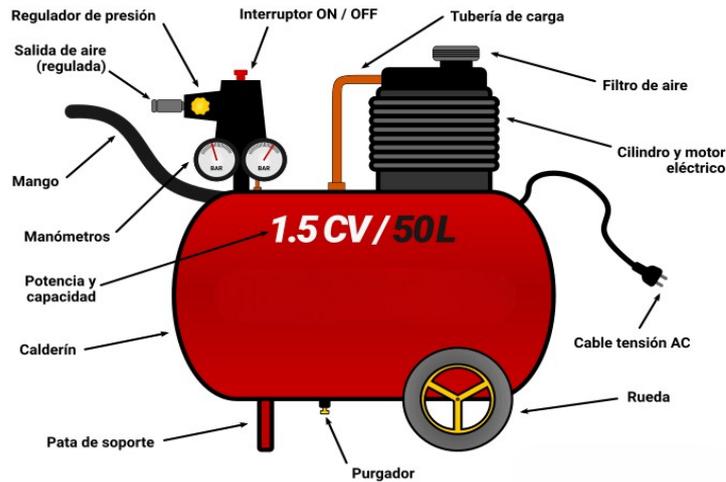
- **Filtro de aire:** El filtro de aire limpia el aire de impurezas antes de que ingrese al compresor.
- **Recalentador de aire:** El recalentador de aire calienta el aire comprimido para evitar que el agua se condense.
- **Regulador de presión:** Reduce la presión del aire comprimido a un nivel apropiado para el sistema neumático.
- **Tanque de almacenaje:** El tanque de almacenamiento guarda aire comprimido para su posterior uso.

Véase la Figura 33 a continuación para observar con mayor detenimiento el funcionamiento interno de un compresor ilustrado por medio de la imagen adjunta.



*Figura 33. Funcionamiento interno de un compresor de aire. Fuente: Autoría propia*

En la Figura 34 mostrada a continuación se puede observar a detalle los elementos que componen externamente a un compresor de aire, con algunos de los cuales el usuario puede interactuar.



**Figura 34.** Elementos que componen externamente a un compresor de aire neumático. Fuente: Autoría propia

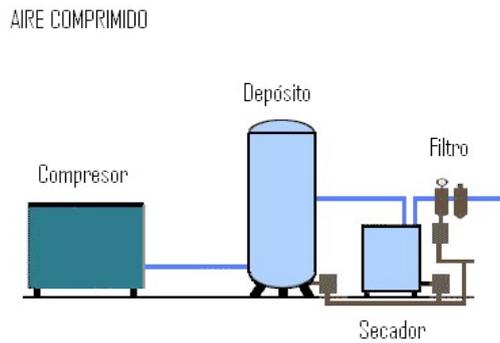
### 2.2.14 Aire comprimido

El aire ambiente que ha sido comprimido y tratado para eliminar impurezas y humedad se utiliza en la neumática industrial. Este aire se utiliza como fuente de energía para operar maquinaria y herramientas neumáticas, para tareas de limpieza y otras actividades [4].

El aire comprimido para uso industrial debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- **Pureza:** El aire comprimido no debe contener impurezas como polvo, partículas, humedad y aceite. Estas impurezas tienen el potencial de dañar las partes del sistema neumático y disminuir su vida útil.
- **Presión:** La presión del aire comprimido debe ser adecuada para el uso en particular. Las presiones de aire comprimido industrial normalmente van de 6 a 12 bar.
- **Temperatura:** Para evitar la condensación y la formación de hielo, la temperatura del aire comprimido debe estar regulada en todo momento.

En la Figura 35 se puede apreciar el proceso de distribución y acondicionamiento por el cual debe pasar el aire comprimido para llegar a los actuadores descrito a través de los elementos que influyen en dicho proceso, empezando de derecha a izquierda.



*Figura 35. Distribución y acondicionamiento del aire comprimido. Fuente: Autoría propia*

### 2.2.15 Unidad de mantenimiento (FRL)

El aparato que purifica el aire comprimido antes de que llegue a los componentes neumáticos se conoce como unidad de mantenimiento de un sistema neumático. Está constituido por tres partes principales:

- **Filtro:** El filtrado elimina partículas de polvo, suciedad y aceite del aire comprimido.
- **Regulador:** El regulador es responsable de regular la presión del aire comprimido ajustándolo a un nivel específico.
- **Lubricador:** es responsable de lubricar los elementos del sistema neumático para mermar el desgaste y extender de esta manera su vida útil.

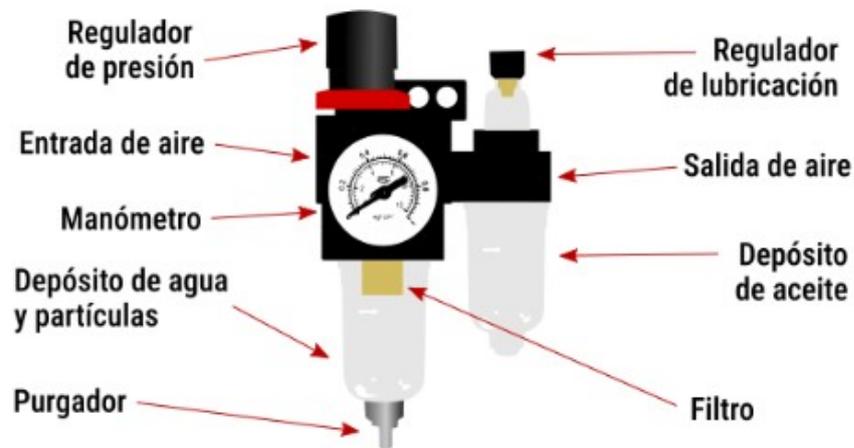
Para que los sistemas neumáticos funcionen correctamente, se necesitan unidades de mantenimiento. Para garantizar el rendimiento, la seguridad y la vida útil de los componentes neumáticos, el aire comprimido debe estar limpio y lubricado.

Las necesidades del sistema neumático determinan la selección de determinadas unidades de mantenimiento. El caudal de aire, la presión de trabajo y el tipo de contaminantes presentes en el aire comprimido son factores a tener en cuenta.

El mantenimiento regular de las unidades de mantenimiento es fundamental para que funcionen correctamente. En ocasiones, el mantenimiento suele incluir la reposición o cambio del lubricante y los filtros [4].

En la figura 36 adjunta a continuación se puede apreciar el aspecto de una unidad de mantenimiento neumática típica utilizada en sistemas neumáticos para

propósitos generalizados además de las partes que componen la estructura de dicho elemento.

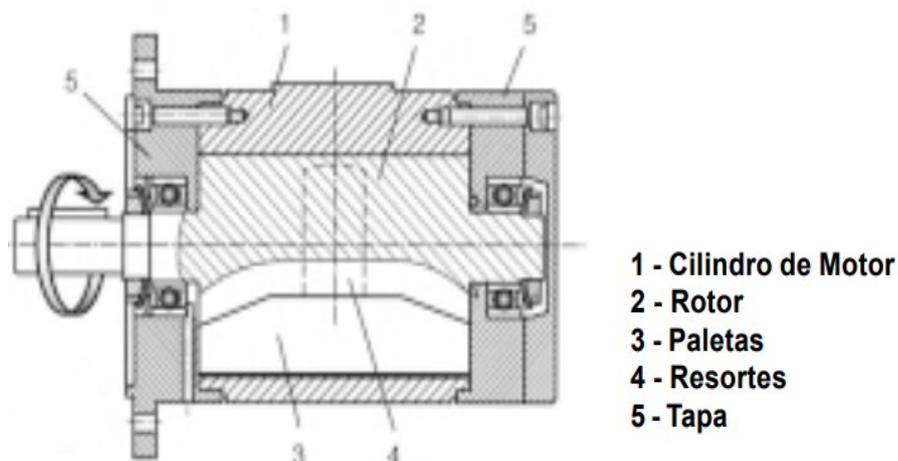


*Figura 36. Unidad de mantenimiento neumática. Fuente: Autoría propia*

### 2.2.16 Motor eléctrico Trifásico

Un motor eléctrico es una maquina la cual transforma la energía eléctrica en energía mecánica para su posterior en diversas aplicaciones de la industria, existen diferentes tipos de motor eléctricos con distintas potencias, el principio de funcionamiento de los motores es a través del campo magnético generado por la corriente AC.

En la Figura 37 se puede observar un motor eléctrico trifásico genérico con el señalamiento de sus partes internas que lo constituyen el cual para aplicaciones en la industria puede llegar a bastar y servir.

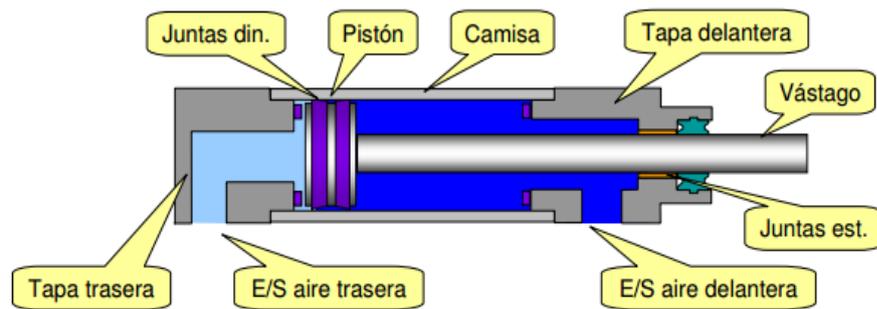


*Figura 37. Constitución interna de un motor eléctrico AC Trifásico. Fuente: Autoría propia*

### 2.2.17 Pistón neumático

Un pistón neumático es un actuador mecánico utilizado en diversos procesos de automatización y procesos industriales el cual convierte la energía producida por el aire comprimido en energía mecánica moviendo el vástago del pistón, el cual su movimiento es lineal, es decir, expulsión y retorno. Estos movimientos permiten realizar diversas tareas como levantar cargas, mover estructuras, mover objetos, entre otras cosas. Los pistones en la industria son muy utilizados en diversas áreas, más aún cuando se debe realizar movimientos repetitivos como en las líneas de producción o ensamblaje [5].

Para mejorar la perspectiva del actuador, véase la Figura 38 en la cual se ilustra a un actuador neumático y se señalan las partes internas y externas que lo constituyen.



**Figura 38.** Composición interna y externa de un pistón neumático. Fuente: Centro Mexicano-Frances del Conalep

### 2.2.18 Banda transportadora

Una banda transportadora es un conjunto de mecanismos mecánicos que permite transportar diversos objetos a través de la misma de un punto a otro en, por ejemplo, una planta industrial.

La banda transportadora aparte de transportar objetos también sirve para la clasificación de objetos, almacenamiento e inspección en diversas industrias como la alimentaria, farmacéutica, minera y logísticas, la banda transportadora puede ser de diversos materiales dependiendo su uso [2].

En la Figura 39 se puede apreciar un modelado que ilustra a una banda transportadora usada precisamente para movilizar a través de una línea de producción enfocada en el llenado y taponado de botellas de agua.



*Figura 39. Representación gráfica tridimensional de una banda transportadora para una planta de llenado y taponado de botellas de agua. Fuente: grabcad.com*

### **2.2.19 Interfaz humano-máquina**

Una HMI o Interfaz humano-máquina se refiere a la interfaz de usuario que permite la interacción entre el hombre y la máquina, el HMI permite supervisar y controlar los procesos de producción mediante un interfaz visual la cual es una pantalla táctil, la cual permite controlar el proceso en tiempo real [6].

Además, las HMI también proporcionan al usuario información importante sobre el estado del sistema como alarmas, estadísticas, funcionamiento de la planta lo que permite al operador estar pendiente del estado del sistema y poder ayudar en la toma de decisiones, lo cual se ve reflejado muy someramente en la Figura 40 adjunta.

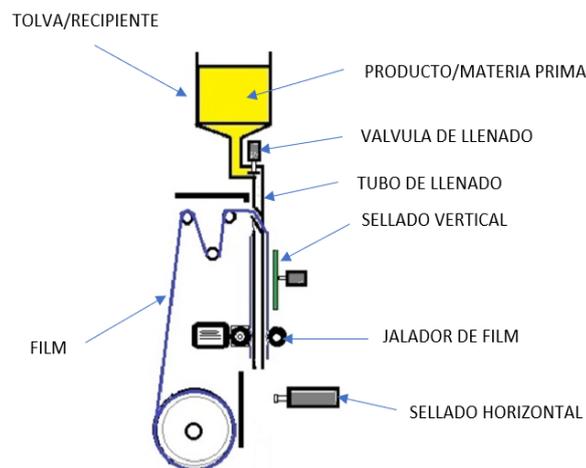


**Figura 40.** Interfaz humano-maquina comúnmente usada en industrias que manejan grandes procesos de producción. Fuente: automationdirect.com

### 2.2.20 Envasadora

Una envasadora es una máquina que cumple con la función del llenado de líquidos de acuerdo con las necesidades del usuario y también se encarga de taponar las botellas. Esta máquina se utiliza en diversas industrias para el envasado de diversos productos.

Para darse una mejor vista, Obsérvese la Figura 41 en la cual se puede apreciar de forma más clara el aspecto de una máquina envasadora usada para propósitos de llenado de botellas con líquido además del señalamiento de las partes que la componen.



**Figura 41.** Bosquejo gráfico de la estructura de una envasadora y su funcionamiento usada comúnmente en la industria de llenado de botellas. Fuente: Autoría propia

### 2.2.21 Tipos de llenado

Las plantas industriales que llenan y taponan botellas utilizan una variedad de métodos de llenado para garantizar la eficiencia y precisión del proceso. Cada método de llenado tiene sus propios beneficios y desventajas, y la elección del método depende del tipo de producto que se llena, la velocidad de producción, la precisión requerida y otros factores específicos de la industria. Entre los distintos tipos de taponado se encuentran, por ejemplo:

- **Llenado por niveles:** El llenado de nivel es uno de los llenados que más se emplean a la hora de usar líquidos espumosos, como por ejemplo cerveza, pero también es muy utilizado en el llenado de agua, para la implementación de este sistema de llenado por nivel se necesita un tipo de válvula Overflow, esta válvula permite el ingreso del líquido hasta cierto nivel cuando el líquido está en el nivel requerido el líquido sobrante es expulsado por un orificio de la válvula.
- **Llenado por presión:** El llenado por presión es usado en los embotellamientos de líquidos viscosos, puesto que este sistema puede aumentar o disminuir la presión de acuerdo a los requerimientos de los envases, el método de llenado a presión consiste en controlar la presión de los tubos por donde circulan los líquidos existen dos tipos de llenado a presión las cuales son presión positiva y presión negativa.
- **Llenado volumétrico:** El llenado volumétrico sirve para líquidos viscosos, el llenado volumétrico consiste en medir la cantidad de volumen del líquido que ingresa al envase mediante tubos dosificadores que cuenta con un caudalímetro que permite controlar el volumen que ingresa al envase [6].

### 2.2.22 Tapado de botellas

El tapado de botellas es un proceso muy común en la industria alimenticia, farmacéutica, de cosméticos, entre otras, el taponamiento consiste en colocar o sellar un recipiente con una tapa para proteger su contenido.

En la Figura 42 adjunta se encuentra una imagen ilustrativa que demuestra cómo se ejecuta el proceso de taponado llevado a cabo por la maquina taponadora que a su vez puede enroscar las tapas en las botellas.



*Figura 42. Acción de tapado y enroscado de tapa en botella a través de una maquina taponadora manual. Fuente: Autoría propia*

### **2.2.23 Tipos de taponado**

Existen distintos tipos de taponado a presión, rotativo o neumático los cuales permiten sellar la botella. El tipo de taponado se selecciona de acuerdo a las características y necesidades del usuario, el taponado de las botellas es un proceso critico debido a que, si se tiene un mal sellado, esto afecta directamente la calidad y seguridad del producto final. Entre los distintos tipos de taponado se encuentran, por ejemplo:

- **Taponado por rosca:** Este es el método más habitualmente utilizado para botellas de agua. Una tapa que se enrosca en el cuello de la botella es usada para este propósito. Este método es rápido y efectivo, y asegura un sellado firme.
- **Taponado por presión:** Para este tipo de taponado se ocupa aire comprimido u otro mecanismo de presión para presionar una tapa sobre el cuello de la botella. Esto da lugar a un sello hermético sin roscas. Es popular en botellas de agua con gas.

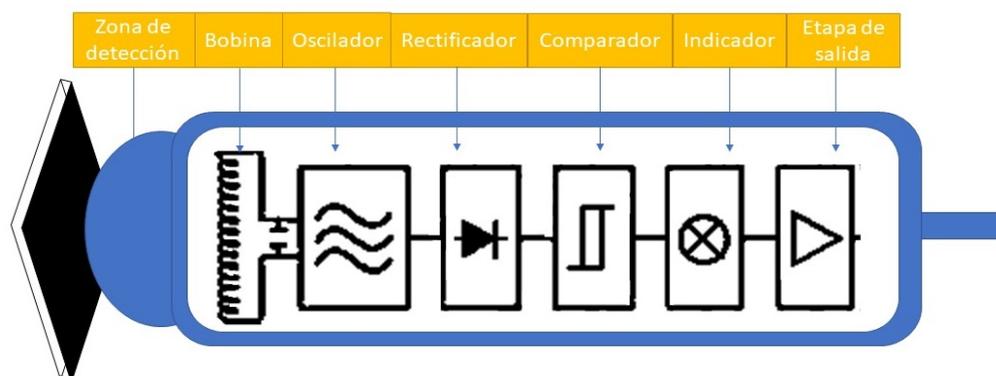
- **Taponado por inducción:** Este taponado en particular se aplica a las tapas de botellas de aluminio o plástico que están revestidas con sellado por inducción. Al colocar la tapa sobre la botella, el calor de inducción provoca que el revestimiento se funda y se adhiera al cuello de la botella, lo que genera un sello hermético.
- **Taponado por presión y vacío:** Este tipo de taponado implica sellar la botella con una tapa y luego realizar un proceso de vacío para eliminar el aire atrapado al interior del recipiente. Esto mejora la hermeticidad del sellado y es común en botellas de agua embotellada de alta calidad [6].

### 2.2.24 Sensor capacitivo

Un sensor capacitivo principalmente se lo usa para la detención de objetos no metálicos, el cual utiliza el principio de capacitancia para la detención de objetos próximos al sensor, utilizando el campo eléctrico del sensor.

El campo eléctrico producido por el sensor es producido por dos placas cargadas eléctricamente las cuales están en paralelo a una mínima distancia produciendo el campo eléctrico este campo se puede modificar debido al área de las placas y la distancia que existe entre ellas [7].

Para mayores detalles, véase la Figura 43 en la cual se puede apreciar cómo se ve un sensor capacitivo genérico en el cual también se detallan las partes que lo componen internamente.



*Figura 43. Constitución interna de un sensor capacitivo genérico. Fuente: Autoría propia*

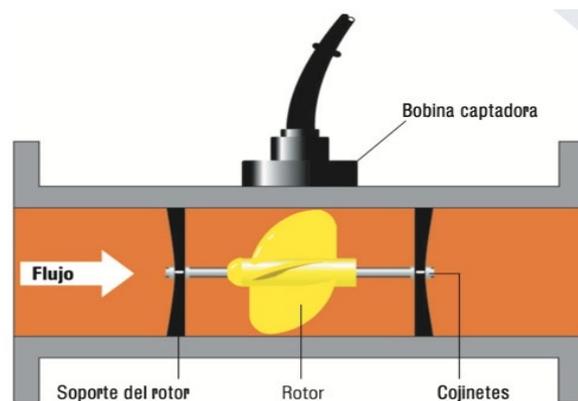
### 2.2.25 Flujómetro

Un flujómetro es un aparato que mide el flujo de un fluido, ya sea líquido o gas, a través de una tubería o conducto. Su función principal es medir la cantidad de flujo que pasa por un punto de un sistema en particular.

Por ejemplo, los flujómetros de tipo turbina, cuentan con una turbina que gira proporcionalmente al caudal del fluido y esta rotación se convierte en una señal eléctrica para medir el flujo.

En varias aplicaciones, el tipo de flujómetro a usarse dependerá de diversos factores a tener en consideración tales como el tipo de fluido, el rango del caudal, la precisión de la que se requiera y demás [8].

Véase la Figura 44, en la cual se presenta una imagen que ilustra el funcionamiento de un flujómetro de tipo turbina además de su constitución interna.



*Figura 44. Constitución interna de flujómetro de turbina. Fuente: Autoría propia*

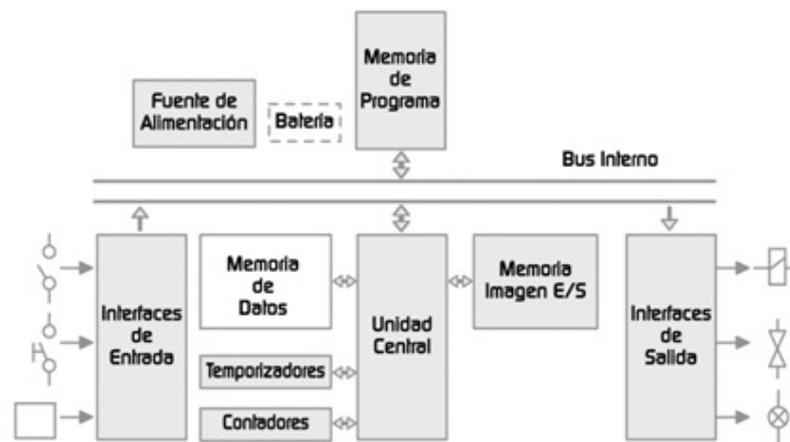
### 2.2.26 Controlador lógico programable

Un controlador lógico programable o PLC, es un controlador robusto el cual es utilizado para la automatización que nos permite programar las acciones de los actuadores con los que contamos, cuenta con entradas analógicas y digitales las cuales nos permitirán conectar los sensores de nuestro sistema.

Los controladores lógicos programables son preferibles a los sistemas tradicionales basados en relés y contactores dado que ofrecen una mayor flexibilidad y se pueden reprogramar las veces que se requiera dependiendo los cambios que se le den al

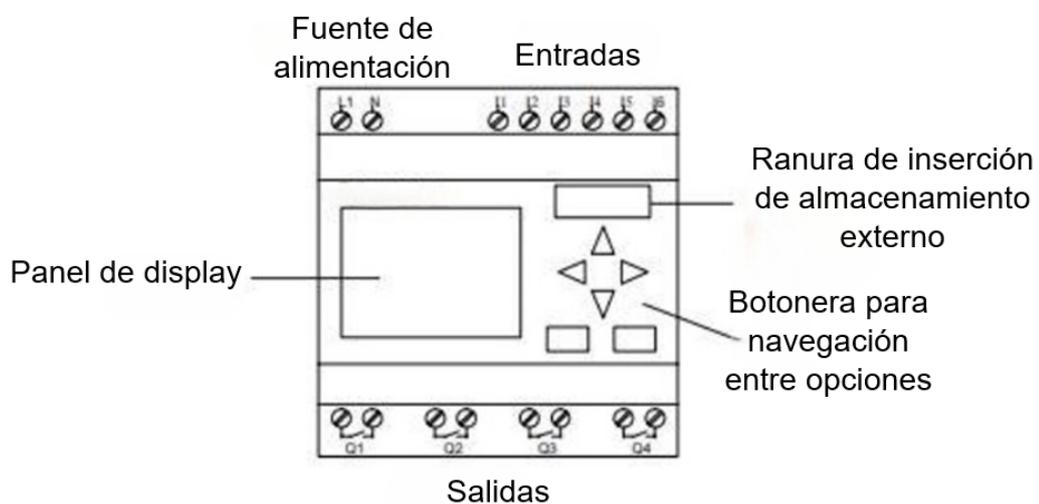
proceso. El controlador lógico programable está diseñado para que funcione en un entorno industrial, de allí que se considere un dispositivo robusto [9].

En la Figura 45 adjunta se tiene una ilustración muy simplista que enmarca lo que sería la estructura interna de un controlador lógico programable.



**Figura 45.** Estructura interna de un controlador lógico programable. Fuente: Autoría propia

Por otro lado, en la figura 46 se presenta una imagen ilustrativa de un controlador lógico programable y las partes externas que lo componen.



**Figura 46.** Imagen ilustrativa de un controlador LOGO y sus partes externas. Fuente: Autoría propia

### 2.2.27 ESP32

ESP32 es un conjunto de microcontroladores de sistema en chip (SoC) económicos y de bajo consumo que incluyen conectividad Wi-Fi y Bluetooth dual. El ESP32 cuenta con un procesador dual de núcleo Xtensa LX6 de 32 bits que opera a 160 o

240 MHz y puede alcanzar un rendimiento de hasta 600 DMIPS. Contiene 448 KiB de ROM y 520 KiB de RAM. Además, está equipado con una amplia gama de interfaces periféricas, incluidas las interfaces GPIO, UART, SPI, I2C y ADC.

Una plataforma popular para el desarrollo de dispositivos IoT es sin duda el ESP32. Se puede usar para crear una variedad de dispositivos, incluidos actuadores, sensores, dispositivos de red y dispositivos portátiles [10].

En la Figura 47 se presenta una imagen ilustrativa para representar la carga de programación desde PC a ESP32 para su posterior prueba y uso.



*Figura 47. Esquema de comunicación para carga, recepción y transmisión de información entre PC-ESP32. Fuente: Autoría propia*

## **2.2.28 Normativas en vigencia aplicadas al sistema automatizado de llenado y taponado**

### **2.2.28.1 Normativas empleadas en la industria para el uso de equipos o dispositivos de neumática y electroneumática**

Es un hecho que las tecnologías neumática y electroneumática se utilizan ampliamente en la industria para automatizar procesos y realizar tareas mecánicas. Existen una serie de normativas que deben seguirse para garantizar la seguridad y la eficiencia de sistemas que utilicen estas tecnologías.

Las siguientes son las principales regulaciones utilizadas en la industria para el uso de equipos o dispositivos neumáticos y electroneumáticos:

- **ISO 10079-1:2010 - Seguridad en sistemas de neumática - Parte 1:** Principios generales para el diseño, la construcción y la instalación. Los estándares generales para el diseño, la construcción y la instalación de sistemas neumáticos seguros se establecen en esta norma.
- **ISO 10079-2:2010 - Seguridad en sistemas neumáticos - Parte 2:** Presión de trabajo y pruebas. Esta normativa establece las normas para las pruebas de presión de trabajo y sistemas neumáticos.
- **ISO 10079-3:2010 - Seguridad en sistemas neumáticos - Parte 3:** Componentes de seguridad Esta norma establece las especificaciones para los componentes de seguridad de los sistemas neumáticos.
- **ISO 10079-4:2010 - Seguridad en sistemas neumáticos - Parte 4:** Equipos de trabajo neumáticos. Esta norma define las especificaciones para los equipos de trabajo neumáticos.
- **ISO 648:2014 – Conexiones roscadas de tuberías para aire comprimido y fluidos – Conexiones y accesorios de tuberías.** Esta norma establece las especificaciones para las conexiones roscadas para fluidos y aire comprimido.

Para garantizar la seguridad de los empleados y del equipo, es esencial cumplir con estas regulaciones. Los fabricantes de equipos y dispositivos neumáticos y electroneumáticos deben certificar sus productos conforme a las normativas ya revisadas previamente, y los usuarios deben asegurarse de que los sistemas que utilizan cumplan con los requisitos de seguridad [8].

#### **2.2.28.2 Normativas empleadas en la industria para efectuar el envasado y taponado de botellas**

En la actualidad, una serie de regulaciones se hallan vigentes en la industria del envasado de bebidas para garantizar la seguridad y calidad de los productos. Estas regulaciones incluyen requisitos específicos para el taponado de botellas, que se enfocan en garantizar que los tapones sean herméticos y que los contaminantes o agentes externos y las bacterias no entren a los recipientes contenedores.

- **Reglamento (CE) n.º 1935/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, sobre materiales y objetos destinados a entrar**

**en contacto con alimentos.** Este reglamento establece las normas generales que deben cumplir los materiales y objetos que entran en contacto con alimentos, incluidos los tapones.

- **Directiva 2003/47/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de junio de 2003, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos.** Esta norma establece requisitos específicos para materiales y objetos plásticos que entran en contacto con alimentos, incluidos los tapones.
- **La norma EN 12944:2001, describe los tapones de botellas. Requisitos y procedimientos de ensayo.** Esta norma establece las especificaciones y procedimientos de ensayo para los tapones de botellas.

Además de estas normas, los fabricantes de bebidas suelen usar sus propias normas internas para asegurarse de que sus productos sean de alta calidad. Estas normas pueden especificar requisitos adicionales para el taponado de botellas, como durabilidad o resistencia al impacto.

Las botellas se taponan una vez efectuado el llenado y enroscado. El tipo de tapón y el tipo de bebida que se envasa determinan los procedimientos específicos que se utilizan.

Los tapones para botellas se pueden hacer de una variedad de materiales diferentes, como plástico, vidrio, metal o madera. El material del tapón y el material de la botella deben ser compatibles.

El proceso de envasado de bebidas incluye el taponado de las botellas. Los tapones deben cumplir con una serie de lineamientos para garantizar la seguridad y la calidad del producto [9].

### **2.2.28.3 Normativas empleadas en la industria para el uso de instrumentos de medición en sistemas automatizados**

Las normas que se detallan a continuación son cruciales para garantizar la calidad y la precisión de las mediciones realizadas con instrumentos de medición utilizados en sistemas automatizados. Las empresas pueden garantizar que sus productos y

servicios cumplan con los requisitos de los clientes y los requisitos legales y reglamentarios aplicables al cumplir con estas normativas [10].

- **ISO 9001:2015.** Esta norma establece los requisitos para un sistema de gestión de la calidad que permita a una organización ofrecer productos y servicios que satisfagan los requisitos de los clientes, los requisitos legales y reglamentarios aplicables.
- **ISO 10012:2012.** Esta norma particular se enfoca en la gestión de la medición y establece pautas para el proceso de medición, como la trazabilidad y la calibración de los instrumentos de medición.
- **ISO 17025:2017.** Esta norma especifica los requerimientos para los laboratorios de ensayo y calibración que ocupan elementos de medición en sus procesos.
- **ANSI/ISA-5.1:** Este estándar, creado por la Sociedad de Automatización e Instrumentación de América (ISA), establece los símbolos e identificaciones para los instrumentos de medición que se utilizan en sistemas de control automatizado.
- **ANSI/ISA-84:** Este estándar, también creado por ISA, se centra en la gestión de la seguridad de los sistemas de automatización industrial, incluida la evaluación de riesgos y la selección de instrumentos de medición seguros.
- **IEC 61508:** Esta norma internacional establece los lineamientos para la seguridad funcional de los sistemas electrónicos, incluyéndose aquí también los instrumentos de medición utilizados en aplicaciones críticas.
- **NIST Handbook 44:** Este manual, publicado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de los Estados Unidos, proporciona instrucciones sobre la calibración de instrumentos de medición y es ampliamente utilizado en la industria.

#### **2.2.28.4 Normativas empleadas en la industria para el uso de controladores en sistemas automatizados**

Las normas que se presentan a continuación son fundamentales para garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia de los controladores utilizados en sistemas

automatizados. Las organizaciones pueden asegurarse de que sus sistemas de control cumplan con los requisitos de seguridad y calidad aplicables si se cercioran de que sus elementos controladores funcionan en consonancia con los lineamientos establecidos por estas normativas [10].

- **IEC 61131-2:2017.** Esta norma establece los requerimientos para la creación del software para el control industrial. Esta norma para los controladores requiere que el software de control sea seguro, confiable e intuitivo para su uso.
- **IEC 61499:2019.** Esta regla establece un marco para el desarrollo de sistemas de control distribuido. Esta norma permite el desarrollo de sistemas de control más adaptables y flexibles en el campo de los controladores industriales.
- **IEC 62443-1:2017.** Esta norma define los protocolos de seguridad para los sistemas de control industrial. Esta norma para los controladores industriales requiere que dichos controladores estén protegidos contra ataques cibernéticos.
- **ISO 13849-1:** Esta norma internacional se enfoca en la seguridad de las máquinas y especifica el diseño y la validación de sistemas de control de seguridad, incluidos los controladores programables. Ayuda en la evaluación y reducción de riesgos en sistemas automatizados.
- **UL 508A:** Esta regulación se aplica en los Estados Unidos y se enfoca en las especificaciones de los paneles de control industriales y los equipos eléctricos utilizados en sistemas automatizados. Garantizar la seguridad eléctrica en aplicaciones industriales es crucial.

#### **2.2.28.5 Normativas empleadas en la industria para el diseño de interfaces humano-máquina en sistemas automatizados**

En lo relativo a las normativas que rigen al diseño de las interfaces humano-máquina, estas comúnmente pueden variar según la región y el tipo de sistema. Para salvaguardar la integridad, constatar la usabilidad y promover la eficacia de las interfaces humano-máquina en sistemas automatizados, se deben seguir las normas detalladas a continuación [11].

- **ISO 9241-11:2018.** Esta norma establece los estándares generales para el diseño de interfaces humano-máquina. La norma aborda los siguientes aspectos en el diseño de la interfaz:
  - **Principios de diseño:** La norma establece principios generales para el diseño de interfaces humano-máquina, como seguridad, accesibilidad y usabilidad.
  - **Proceso de diseño:** La norma establece un proceso de diseño para interfaces humano-máquina que incluye fases de planificación, diseño, implementación y evaluación.
  - **Herramientas y técnicas de diseño:** La norma ofrece herramientas y técnicas de diseño para interfaces humano-máquina.
- **ISO 11064-1:2018.** Esta norma impone los lineamientos a seguir para la visualización de datos en interfaces humano-máquina. La norma aborda los siguientes aspectos para la visualización de datos:
  - **Principios de visualización:** La norma establece estándares generales para la visualización de información en interfaces humano-máquina, como legibilidad, comprensibilidad y confort.
  - **Elementos de visualización:** La norma requiere elementos de visualización como gráficos, tablas e imágenes.
  - **Diseño de visualización:** la norma establece un proceso de diseño para la visualización de información en interfaces humano-máquina.
- **ISO 13482:2021.** Esta norma dicta los requisitos a cumplir para la seguridad de las interfaces humano-máquina en productos industriales. La norma aborda los siguientes aspectos:
  - **Amenazas:** La norma enumera las amenazas a las que están expuestas las interfaces humano-máquina en productos industriales.
  - **Mitigaciones:** La norma establece requisitos para mitigar las amenazas a las que están expuestas las interfaces humano-máquina en productos industriales.
  - **Evaluación de la seguridad:** la norma establece los requisitos para la evaluación de la seguridad de las interfaces humano-máquina en productos industriales.

- **ISO 11064:** Esta serie de normas internacionales establece pautas para el diseño ergonómico de sistemas de control de centros de control, que con frecuencia incluyen HMI en entornos de procesos críticos industriales.
- **NFPA 70E:** Esta norma, emitida por la Asociación Nacional de Protección contra incendios (NFPA) en los Estados Unidos, se enfoca en la seguridad eléctrica en el lugar de trabajo e incluye pautas para la seguridad de las personas en relación con sistemas eléctricos y los dispositivos para visualizar interfaces humano-máquina (HMI).

#### **2.2.28.6 Normativas empleadas en la industria para ejecutar la inspección de calidad en botellas dentro de un sistema automatizado**

En diversas industrias, como la industria de alimentos y bebidas, la farmacéutica y la manufactura, la inspección de calidad en botellas dentro de un sistema automatizado se considera crucial. Las regulaciones de más alto impacto para garantizar la calidad de las botellas fabricadas por sistemas automatizados se enumeran a continuación. El cumplimiento de estas normas permite a las empresas garantizar que sus botellas cumplan con los estándares de calidad establecidos [12].

- **ISO 9001:2015.** Esta norma hace alusión a los requisitos para un sistema de gestión de la calidad que permitan a una organización ofrecer productos y servicios que satisfagan los requisitos de los clientes y los requisitos legales y reglamentarios aplicables. Esta norma requiere que las organizaciones establezcan y mantengan un proceso de inspección que garantice que las botellas cumplan con los requisitos de calidad especificados en el ámbito de la inspección de calidad de las botellas.
- **ISO 17025:2017.** Esta norma especifica los lineamientos para los laboratorios de ensayo y calibración. Esta norma requiere que los laboratorios de ensayo y calibración cumplan con los requisitos establecidos en el ámbito de la inspección de calidad de botellas para garantizar la fiabilidad de sus resultados de ensayo y calibración.
- **ISO 2856:2015.** Esta norma establece los aspectos a evaluar para la inspección visual de botellas. La norma aborda los siguientes aspectos:

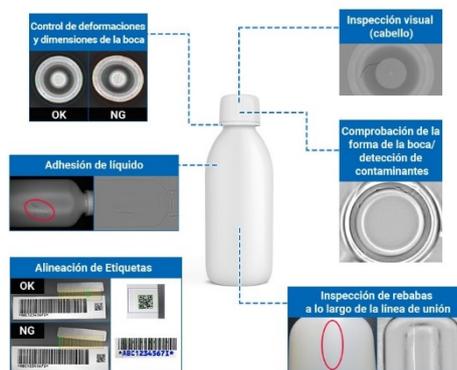
- **Objetivos de la inspección:** Los objetivos de la inspección visual de botellas se hallan descritos en la norma.
- **Pruebas de aceptación:** Las pruebas de aceptación para la inspección visual de botellas se hallan descritas por la norma.
- **Equipo de inspección:** Los requisitos para el equipo de inspección visual de botellas son dictados por la norma.
- **Proceso de inspección:** la norma establece un procedimiento para inspeccionar visualmente las botellas.
- **ISO 2857:2015.** Esta norma establece los requisitos para la inspección dimensional de las botellas. La norma evalúa los siguientes aspectos:
  - **Objetivos de la inspección:** Los objetivos de la inspección dimensional de las botellas se establecen en la norma.
  - **Pruebas de aceptación:** Las pruebas de aceptación para la inspección dimensional de las botellas están establecidas por la norma.
  - **Equipo de inspección:** Los requisitos para el equipo de inspección dimensional de botellas están establecidos por la norma.
  - **Proceso de inspección:** La norma especifica un procedimiento para inspeccionar las dimensiones de las botellas.
- **ISO 2858:2015.** Esta norma dicta los lineamientos para la inspección de la superficie de las botellas. La norma evalúa los siguientes aspectos:
  - **Objetivos de la inspección:** Los objetivos de la inspección de la superficie de las botellas se establecen en la norma.
  - **Pruebas de aceptación:** Para la inspección de la superficie de las botellas, la norma es la que se encarga de establecer los puntos a tomar en cuenta en las pruebas de aceptación.
  - **Equipo de inspección:** Los requisitos del equipo de inspección de la superficie de las botellas se establecen en la norma.
  - **Proceso de inspección:** La norma especifica un procedimiento para inspeccionar la superficie de las botellas.

### 2.2.29 Visión por máquina

La visión por máquina, también conocida como visión artificial industrial, es una tecnología que dota a las máquinas con el poder de "visualizar" y procesar la información que captan del medio físico real para ayudarlas a tomar decisiones. Un derivado de la inteligencia artificial es la visión de máquina, que utiliza una variedad de tecnologías como el desarrollo de sistemas y algoritmos complejos para reconocer imágenes, formas, caras, colores y otros elementos [13].

La visión por máquina integra la utilización de sensores y cámaras para la toma de imágenes o datos visuales captados de objetos, escenas o entornos. Luego se hace uso de algoritmos y técnicas de procesamiento de imágenes para realizar una variedad de tareas, como lo es en este caso en particular, el propósito de la inspección de calidad a nivel industrial que tiene como finalidad detectar desperfectos en el producto elaborado [14].

Sintetizando, la visión artificial o visión por máquina les concede a las computadoras y a otros dispositivos la característica para interpretar y procesar información capturada de forma visual automáticamente, algo que se puede apreciar de mejor forma en la Figura 48 adjunta con un ejemplo ilustrativo.



**Figura 48.** Ejemplo de aspectos que puede evaluar un sistema de visión artificial en un recipiente.  
Fuente: keyence.com.mx

### 2.2.30 Comunicación serial

En la comunicación serial, los datos se transmiten uno tras otro, bit a bit. Se utiliza para una variedad de aplicaciones, como la visión por máquina.

La comunicación serial se utiliza en la visión por máquina para transferir datos entre la cámara y el computador. Los datos que se transmiten pueden incluir imágenes digitales, datos de control de la cámara o ambos.

Muchas aplicaciones de visión por máquina requieren comunicación serial. La capacidad de contar con una comunicación efectiva entre computadoras y cámaras es un factor que facilita el procesamiento de imágenes y la toma de decisiones [15].

### **2.3 Marco Teórico.**

En el Ecuador el año 2015 se realizó el trabajo “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA ENVASADORA Y DOSIFICADORA DE REFRESCOS PARA LA INDUSTRIA DE LÁCTEOS SANTILLÁN “PRASOL” el cual consiste en el llenado de botellas de 500 ml y 250 ml para la empresa “PRASOL” en el trabajo realizado por SANI ALICIA y TOAPANTA JAVIER en el cual consiste realizar una maquina lineal con rascamiento mecánico para la colocación de tapas en los envases, los resultados del trabajo muestran que para las botellas de 250 ml la producción aumentó un 140% y para las botellas de 500 ml aumento un 200%.

En la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE en el año 2019 se realizó el trabajo “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA LLENADORA DE BOTELLAS PARA LICOR ARTESANAL” por CÓNDOR DIEGO el cual expresa en su trabajo que la maquina llenadora de botellas esta echa para aumentar la producción de las pequeñas empresas como resultado de su trabajo se pueden llenar 4 botellas de 750 ml con licor artesanal en un tiempo de 13s.

En la ciudad de Riobamba en el año 2017 se realizó el trabajo “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE ENVASADO DE LÍQUIDOS PARA LA PLANTA DE LÁCTEOS TUNSHI” por los autores HJALMAR GUERRA y MARCELO CHANCUSIG, los resultados de su trabajo les dio como resultados la capacidad de envasar 210 envases de 1 lt en 60 min, mejorando la producción y los recursos de la empresa.

En la provincia del Chimborazo en el año 2020 fue elaborado el trabajo de titulación que lleva por nombre “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO CON CONTROL HMI-SCADA PARA EL PROCESO DE EMBOTELLADO DE LÍQUIDOS” elaborado por CRISTIAN CHILUISA de la Universidad politécnica del Chimborazo ESPOCH, en el cual mediante métodos estadísticos logró determinar que su sistema automatizado seccionado por módulos en etapas alcanzó cotas y porcentajes en cada una de ellas de hasta un 78%, lo cual constituye una mejora sustancial en el proceso de producción del embotellado de líquidos.

## **CAPÍTULO III**

### **3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **3.1 Componentes de la propuesta**

En esta sección se van a detallar los componentes clasificados por lógicos y físicos que se han ocupado en la propuesta para poder diseñarla, desarrollarla e implementarla desde sus primeras etapas hasta las etapas finales, agregando en cada descripción de componente físico las características o especificaciones más resaltantes de modo que así se adquiriera una mayor comprensión de los mismos.

##### **3.1.1 Componentes Lógicos**

A continuación, se presentan los componentes lógicos que se han ocupado para poder programar ciertos componentes físicos del sistema automatizado.

###### **3.1.1.1 LOGO!Soft Comfort**

El software de programación LOGO!Soft Comfort se utiliza para programar y configurar los controladores lógicos programables o PLC de la serie LOGO! del fabricante Siemens y entre algunos de los esquemas para su programación están: el diagrama de funciones o FUP, el esquema de contactos o KOP y el diagrama UDF.

La interfaz gráfica de usuario de este programa permite a los usuarios crear y editar programas para los controladores LOGO!. El programa ofrece una variedad de herramientas de programación y configuración que permiten a los usuarios

configurar las entradas y salidas, establecer condiciones y secuencias lógicas y crear programas de control personalizados para sus aplicaciones específicas [16].

Por último, pero no menos importante, hay que destacar que el software en cuestión es un programa de ingeniería completo y poderoso que permite a los usuarios darles uso y programar los controladores LOGO! de manera simple y eficiente.

### **3.1.1.2 CadeSIMU**

CadeSIMU es un software electrotécnico que permite crear diagramas de mandos eléctricos y simular el funcionamiento de casi todo tipo de circuitos eléctricos. En su mayor parte, se enfoca en la simulación y armado de comandos eléctricos, esquemas de PLC y circuitos neumáticos desde los más básicos hasta los más avanzados.

Este programa es una herramienta muy útil para aprender y enseñar electrónica, para diseñar y probar circuitos antes de implementarlos en la práctica. Ayuda a los usuarios a adquirir experiencia mediante la simulación, en la creación y en el análisis de circuitos eléctricos y electrónicos, lo cual puede ser beneficioso para el campo de la educación y el desarrollo de proyectos que estén relacionados a las ramas de aprendizaje que ocupan el uso de este software [17].

### **3.1.1.3 PC SIMU**

El software PC SIMU es una herramienta que le da la facilidad a los ingenieros o usuarios más casuales de diseñar y probar sistemas de control industrial antes de ponerlos en práctica o implementarlos. Una amplia gama de componentes de automatización, como los son los PLC's, sensores, actuadores y dispositivos de interfaz humana, son compatibles con este programa.

El entorno de simulación PC SIMU ofrece una interfaz gráfica fácil de entender que aporta a la creación modelos de sistemas de automatización y también a su posterior simulación previo a su implementación, de darse el caso. En el espacio de trabajo del software, el usuario puede arrastrar y soltar componentes, luego conectarlos con líneas de conexión. Los usuarios pueden programar los componentes de automatización con PC SIMU usando una variedad de lenguajes de programación [18].

El software tiene la posibilidad de comunicarse con otros programas compatibles para dar apertura a la prueba de funcionalidad que se refleja en la simulación del diseño del sistema que se haya elaborado.

#### **3.1.1.4 FLUID SIM**

FluidSIM es un programa que sirve para simular y diseñar sistemas neumáticos, hidráulicos y electroneumáticos. Fue desarrollado con el objetivo de contribuir a los estudiantes, ingenieros y profesionales en su comprensión y experimentación con conceptos de automatización industrial y sistemas de control de fluidos. Los usuarios pueden diseñar, simular y probar circuitos y sistemas que incluyen componentes neumáticos y/o hidráulicos, como válvulas, cilindros, bombas, sensores y más con este software.

FluidSIM facilita la creación y simulación de sistemas neumáticos y oleo hidráulicos. Para crear sistemas, el programa tiene una interfaz de usuario fácil de entender que utiliza la metodología de arrastrar y soltar para el posicionamiento de los elementos en el espacio de trabajo [19].

#### **3.1.1.5 Arduino IDE**

El entorno de desarrollo integrado (IDE) Arduino es principalmente para placas Arduino y también puede usarse para programar otros tipos de microcontroladores como ESP32 que es compatible con el lenguaje de programación, la sintaxis y librerías de este entorno de codificación.

La IDE Arduino incluye una interfaz gráfica de usuario (GUI), un compilador, un editor de texto y un depurador. Los usuarios pueden escribir el código fuente de sus proyectos utilizando un editor de texto. El compilador convierte el código fuente en código máquina, que puede ser ejecutado por un microcontrolador compatible con el lenguaje de programación, como un microcontrolador de la placa Arduino.

Los usuarios pueden encontrar y corregir errores en el código con el depurador. Por último, la interfaz gráfica de usuario da facilidad para la carga y monitoreo de proyectos o sketches en los diferentes modelos de placas de Arduino o cualquier otro microcontrolador compatible [20].

### **3.1.1.6 Python**

Python es un lenguaje de programación multiparadigma, de fácil interpretación y orientado a programar objetos, considerado de alto nivel. También es conocido por ser como una plataforma de codificación de propósito general, lo que significa que puede usarse para una variedad de tareas que van, por ejemplo, desde el desarrollo web hasta la ciencia de datos.

En el campo de las inteligencias artificiales y sus derivados, particularmente la visión artificial, este lenguaje de programación ha ido cobrando gran relevancia y renombre, puesto que a nivel de ingeniería es más comúnmente usado cuando se habla de aplicaciones que involucran el procesamiento, entrenamiento y tratamiento de imágenes mediante algoritmos para dichos propósitos [21].

### **3.1.1.7 OpenCV**

OpenCV es una herramienta muy utilizada para la creación de aplicaciones que procesan videos e imágenes. La lectura y escritura de imágenes y videos, las transformaciones de imágenes, los filtros de imágenes, la detección de bordes y el reconocimiento de objetos son solo algunas de las funciones que ofrece esta librería para el procesamiento de imágenes [21].

Esta biblioteca es de acceso gratuito además de ser de open source o código abierto, lo cual da apertura a que tanto estudiantes como investigadores especialistas o incluso entusiastas de herramientas como esta, tengan acceso a ella sin ningún tipo de restricción.

### **3.1.1.8 Numpy**

Numpy es una biblioteca para el lenguaje de programación Python que soporta la creación de vectores y matrices grandes de múltiples dimensiones, así como una gran cantidad de funciones matemáticas de alto nivel para aplicarse con ellas [21].

Actualmente, Numpy es uno de los paquetes más populares de Python para el cálculo científico. Proporciona un objeto de cuadro multidimensional y variaciones, como matrices y máscaras, que se pueden usar para una variedad de operaciones matemáticas.

### **3.1.1.9 Mediapipe**

Como tal, Mediapipe es una librería de código abierto la cual está enfocada en el aprendizaje automático en dispositivos móviles y otros dispositivos periféricos. Contiene archivos de codificación pre-compilados a modo de soluciones especializadas para labores como la detección de rostros, el seguimiento de manos, la detección de gestos, la detección de objetos particulares y demás campos de aplicación [21].

### **3.1.1.10 Haar Cascade**

Los modelos de clasificadores en cascada como Haar Cascade se pueden entrenar, probar y mejorar utilizando su GUI. Los clasificadores en cascada son algoritmos de aprendizaje automático que detectan objetos en imágenes.

Debido a su GUI en cascada, la interfaz de usuario de Haar Cascade es fácil de usar para etiquetar imágenes positivas y negativas. Las imágenes positivas capturan el objeto que se desea detectar, mientras que las imágenes negativas capturan el objeto sin él. Haar cascade entrena un modelo de clasificador en cascada una vez que el usuario etiqueta un conjunto de imágenes.

### **3.1.1.11 Pyserial**

La biblioteca Pyserial para el entorno Python permite la comunicación serial entre una computadora y un dispositivo externo. Un tipo de comunicación entre dos dispositivos mediante un cable físico se conoce como comunicación serial. El cable serial generalmente tiene dos conectores, uno reservado para cada dispositivo.

PySerial es una biblioteca de alto alcance y adaptable que se puede usar para una variedad de tareas, como controlar dispositivos externos y recibir o enviar datos de dispositivos externos como sensores, cámaras y pantallas [22].

## **3.1.2 Componentes Físicos**

A continuación, se presentan los componentes físicos que se han adquirido e implementado para poder darle forma a la planta.

### 3.1.2.1 Conjunto de elementos que componen el tablero eléctrico de control

#### Contactor

Un contactor es un equipo de conmutación eléctrica que sirve para el control del flujo eléctrico en la industria, está diseñado para encender y apagar equipos, el contactor consta de una bobina eléctrica que cuando la energizan esta bobina cierra los contactos del contactor permitiendo el paso del flujo eléctrico.

Por su lado en la Figura 49 se muestra el aspecto físico de un contactor de la vida real ocupado en tableros eléctricos de control, mientras que en la Tabla 2 se despliegan las características técnicas inherentes a este contactor.



**Figura 49.** Contactor CHINT NXC-18. Fuente: Portal web del fabricante CHINT

**Tabla 2.** Tabla de características del contactor CHINT NXC-18. Fuente: Sitio web oficial del fabricante CHINT

Características técnicas	
Número de polos	3
Corriente nominal	18 A
Tensión nominal de funcionamiento	220 V CA
Tensión nominal de bobina	220 V CA
Potencia nominal de bobina	7,5 W
Vida útil eléctrica	100000 ciclos
Intensidad de cortocircuito admisible	120 A
Resistencia de aislamiento	>500 MΩ

<b>Temperatura ambiente de funcionamiento</b>	-25 °C a +70 °C
<b>Humedad relativa de funcionamiento</b>	50% a +40 °C
<b>Grado de protección</b>	IP20
<b>Dimensiones</b>	77 x 45 x 92 mm
<b>Peso</b>	240 g

## Breaker

Un breaker o disyuntor es un equipo de seguridad eléctrica diseñado para la protección de equipos y circuitos eléctricos a causa de sobrecarga y cortocircuitos, este dispositivo corta automáticamente el flujo de energía eléctrica al detectar una falla en el sistema eléctrico para evitar daños e incendios.

Los disyuntores funcionan cuando al circuito tiene una sobre carga o se produce un corto circuito, lo cual hace que la corriente aumente y pase el límite de seguridad del disyuntor, cuando esto sucede, el mecanismo interno del disyuntor se acciona interrumpiendo al instante el flujo de energía eléctrica.

Por su lado en la Figura 50 se muestra el aspecto físico de un breaker de la vida real ocupado en tableros eléctricos de control, además de que en la Tabla 3 se recopilan las características técnicas más relevantes de este elemento.



*Figura 50. Breaker CHINT NXB-63H. Fuente: Portal web del fabricante CHINT*

**Tabla 3.** Tabla de características técnicas del breaker CHINT NXB-63H. Fuente: Web oficial del fabricante CHINT

<b>Características técnicas</b>	
<b>Tensión nominal</b>	220 V~/230 V~/240 V ~ (1P), 380 V~/400 V~/415 V ~ (2 ~ 4P)
<b>Frecuencia</b>	50 Hz
<b>Tipo de disparo electromagnético</b>	C
<b>Número de polos</b>	2P
<b>Vida eléctrica</b>	4000 ciclos
<b>Tensión nominal soportada al impulso (Uimp)</b>	4 kV
<b>Consumo eléctrico en cada uno de los polos del interruptor</b>	0,04 W/polo
<b>Curva de disparo</b>	C
<b>Temperatura ambiente de funcionamiento</b>	-25 °C a +60 °C
<b>Temperatura ambiente de almacenamiento</b>	-40 °C a +70 °C

### **Pulsador plástico de retención**

Los pulsadores son equipos utilizados para el sistema de control y automatización, los pulsadores están diseñados para proporcionar una interfaz táctil para el control de equipos como motores, bombas, sistemas de iluminación, entre otros. Se utiliza en entornos industriales.

Algunos de estos pulsadores se pueden instalar en tableros o paneles de control, mientras que otros tipos de pulsadores vienen para ser instalados en las maquinas, y en este caso en particular el/los pulsadores a usarse son los pulsadores de retención de la marca CAMSCO.

En la Figura 51 adjunta se presenta el aspecto físico de los pulsadores para marcha y paro de la vida real ocupado en tableros eléctricos de control, por otro lado, en la Tabla 4 se destacan las características técnicas más importantes de estos pulsadores.



**Figura 51.** Pulsadores plásticos de marcha y paro. Fuente: Sitio web oficial de CAMSCO

**Tabla 4.** Tabla de características técnicas de los pulsadores plásticos. Fuente: Sitio web oficial del fabricante CAMSCO

<b>Características técnicas</b>	
<b>Material</b>	Plástico ABS
<b>Acabado</b>	Mate
<b>Color</b>	Rojo y verde
<b>Tamaño</b>	20 mm
<b>Forma</b>	Redondo
<b>Contactos</b>	Normalmente abiertos
<b>Resistencia</b>	500 ohmios
<b>Corriente nominal</b>	10 A
<b>Tensión nominal</b>	250 V
<b>Vida útil</b>	10 millones de ciclos

### **Luz piloto**

Las luces piloto, son utilizadas para indicar el estado del sistema, las luces piloto son utilizadas en la industria para proporcionar información visual del estado del proceso o algún otro equipo.

Las luces piloto cuentan con distintos colores, tamaños y formas dependiendo de su uso, los colores más comunes en las luces piloto son el verde, rojo, amarillo y azules.

La luz piloto roja indica una alarma o algún fallo crítico, mientras que la luz piloto verde se utiliza para indicar que el sistema esta normalmente funcionando. Esto se ve reflejado en la Figura 52 en la cual se muestra el aspecto físico real de las luces piloto.



*Figura 52. Luces piloto. Fuente: Portal web del fabricante CAMSCO*

### **Pulsador paro de emergencia**

En caso de emergencia, un pulsador de paro de emergencia es un dispositivo de seguridad que permite detener una máquina o un proceso industrial de inmediato. Cuando se presenta una situación altamente crítica, un operario puede accionarlo rápidamente porque está diseñado para ser notable y fácilmente accesible.

Cualquier máquina o proceso industrial necesita pulsadores de paro de emergencia. Su diseño y características técnicas están pensadas para que se puedan accionar rápidamente y fácilmente en caso de un apuro o situación desesperada.

Véase la Figura 53 en donde se muestra el aspecto físico de un pulsador paro de emergencia en la vida real, además de la Tabla 5 en la cual se presentan algunas de sus características técnicas más resaltantes.



**Figura 53.** Pulsador paro de emergencia. Fuente: Sitio web oficial del distribuidor Direct industry

**Tabla 5.** Tabla de características del pulsador paro de emergencia. Fuente: Sitio web oficial del distribuidor Direct industry

<b>Características técnicas</b>	
<b>Color</b>	Rojo
<b>Forma</b>	Seta
<b>Cobertura IP</b>	IP65 o IP66
<b>Tipo de contacto</b>	NA o NC
<b>Fuerza de accionamiento</b>	50-100 Newtons
<b>Resistencia mecánica</b>	30.000-100.000 ciclos

### **Variador de frecuencia**

El variador de frecuencia Danfoss Micro VLT regula la velocidad de los motores de CA. Se trata de un convertidor de frecuencia pequeño diseñado para usos simples.

Este variador de frecuencia se puede programar utilizando el panel de control local o un software de programación externo. Cabe destacar que no requiere un mantenimiento regular. Sin embargo, se recomienda limpiar el ventilador de refrigeración periódicamente.

Entre sus ventajas está el ser compacto y ligero, ser fácil de instalar y usar, tener un alto grado de resistencia y ser altamente fiable y por último implicar un muy bajo consumo de energía y por ende gasto. Algunas de las aplicaciones en las que puede ser ocupado este variador pueden ser como en este caso, una banda transportadora, también en sistemas HVAC, bombas, ventiladores y demás [23].

En la figura 54 adjunta se presenta el aspecto físico real de un variador de frecuencia Micro VLT de Danfoss, además en la Tabla 6 se muestran las características técnicas de este variador de frecuencia.



*Figura 54. Variador de frecuencia Micro VLT. Fuente: Web oficial del fabricante Danfoss*

*Tabla 6. Características técnicas de VFD Micro VLT. Fuente: Web oficial del fabricante Danfoss*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Potencia</b>	De 0,75 a 22 kW
<b>Voltaje</b>	200-240 V o 380-480 V
<b>Frecuencia de salida</b>	0-500 Hz
<b>Par de arranque</b>	150 % del par nominal
<b>Filtro RFI integrado</b>	Sí
<b>Protección IP</b>	20
<b>Peso</b>	De 1,8 a 10 kg
<b>Dimensiones</b>	De 170 x 120 x 69 mm a 220 x 160 x 89 mm
<b>Temperatura ambiente de funcionamiento</b>	De -10 a 50 °C
<b>Humedad relativa de funcionamiento</b>	De 0 a 95 %
<b>Protección contra sobrecargas</b>	Sí
<b>Protección contra cortocircuitos</b>	Sí
<b>Protección contra sobretensión</b>	Sí
<b>Protección contra subtensión</b>	Sí
<b>Protección contra sobretemperatura</b>	Sí
<b>Protección contra fallos a tierra</b>	Sí

<b>Funciones avanzadas</b>	Sí
<b>Programación</b>	Local o externa
<b>Instalación</b>	Montaje en pared o en tablero
<b>Mantenimiento</b>	No requiere mantenimiento regular

### 3.1.2.2 Equipos de control y automatización

#### Controlador lógico programable LOGO! V8.3

El controlador lógico programable, o más bien, relé programable LOGO V8.3 fabricado por Siemens es un dispositivo de alta demanda y de gama moderada, el cual dado su potencial y versatilidad se ocupa comúnmente en trabajos que van direccionados hacia el área industrial y en donde se requiera controlar un determinado proceso mediante la lógica de programación que maneja este dispositivo.

La serie de controladores lógicos programables LOGO incluye el LOGO V8.3, que está diseñado para ayudar a las pequeñas y medianas empresas a automatizar y controlar sus procesos industriales.

Estos dispositivos son comunes en una amplia gama de aplicaciones, incluida la automatización de procesos en edificios y fábricas, además de favorecer el control de maquinaria y sistemas de iluminación, por poner algunos ejemplos [24].

Ver la Figura 55 en donde se tiene un gráfico representativo de lo que es un LOGO y sus partes externas, además de la Tabla 7, en donde se detallan algunas de las especificaciones o características técnicas más destacables de este dispositivo.



**Figura 55.** Apariencia física de controlador LOGO

**Tabla 7.** Especificaciones técnicas del controlador lógico programable LOGO V8.3. Fuente: Página oficial de Siemens

<b>Características técnicas</b>	
<b>Voltaje de Alimentación</b>	
Valor nominal (DC)	Si
➤ 12 [V] en DC	Si
➤ 24 [V] en DC	
Rango admisible, límite inferior (DC)	10.8 [V]      50~165[mA]
Rango admisible, límite superior (DC)	28.8 [V]      25~90 [mA]
<b>Corriente de Salida</b>	
Rango admisible para 0 a 55 °C máximo de temperatura	16 [A]
<b>Voltaje de salida</b>	< 240 V <sub>AC</sub> /V <sub>DC</sub>
<b>Entradas digitales</b>	
Número de entradas en proporción a las salidas digitales	Total 8 entradas, 4 entradas se pueden usar como entradas analógicas de 0 a 10 [V]
<b>Salidas digitales</b>	
Número de salidas digitales	Un total de 4 salidas de relé
<b>Otros</b>	
Protocolo	Modbus TCP/IP
Pantalla	Si

Montaje	Riel tipo Din de 35 mm
Grado de protección	IP20
Ancho LOGO!	71.5 mm
Alto LOGO!	90 mm
Profundidad LOGO!	60 m

### **Módulo de ampliación 6ED1055-1MB00-0BA2 para controlador LOGO**

El módulo de expansión 6ED1055-1MB00-0BA2 es un módulo para añadir un número determinado de entradas y salidas digitales para el controlador LOGO de Siemens. Permite ampliar las capacidades de entrada y salida del controlador, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren un mayor número de puntos de E/S. Puede utilizarse para añadir entradas y salidas digitales para controlar dispositivos como motores, luces, válvulas, etc.

El módulo de expansión 6ED1055-1MB00-0BA2 se conecta al controlador LOGO mediante un conector de doce pines. Una vez que se haya instalado, el módulo debe configurarse utilizando el software de programación para los LOGO [25].

En la Figura 56 adjunta se muestra el aspecto físico de la vida real del módulo de ampliación de E/S digitales para el controlador LOGO, además véase la Tabla 8 para acceder a las características técnicas más destacables de este módulo de ampliación.



**Figura 56.** Módulo de ampliación 6ED1055-1MB00-0BA2 para controlador LOGO

**Tabla 8.** Tabla de características técnicas del módulo de ampliación 6ED1055-1MB00-0BA2.  
Fuente: Portal oficial de Siemens

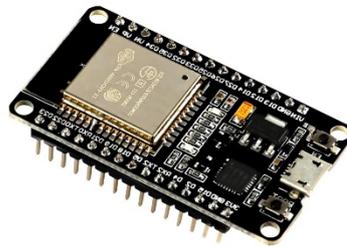
<b>Características técnicas</b>	
<b>Número de entradas</b>	4
<b>Tipo de entradas</b>	Digitales
<b>Número de salidas</b>	4
<b>Tipo de salidas</b>	Relé
<b>Tensión de alimentación</b>	12/24 V DC
<b>Protección</b>	IP20
<b>Dimensiones</b>	90 x 35,5 x 58 mm
<b>Peso</b>	100 g
<b>Corriente de salida</b>	2 A
<b>Temperatura ambiente en servicio</b>	55 °C

## ESP32

El ESP32 es un microcontrolador económico que integra Wi-Fi y Bluetooth en un solo chip. Debido a su bajo consumo de energía, su capacidad inalámbrica y su amplia gama de periféricos, el ESP32 es una excelente opción para proyectos de IoT y automatización. Es capaz de funcionar con varias interfaces de comunicación, incluidas UART, SPI, I<sup>2</sup>C y CAN. Además, tiene la capacidad de ejecutar múltiples tareas simultáneamente y cuenta con soporte para cifrado y seguridad avanzados.

Su uso en específico para este caso en particular es para la labor de controlar el proceso de llenado de las botellas mediante la programación que se le puede cargar a este microcontrolador, lo cual da como resultado que se pueda dosificar la cantidad de fluido que se le desee otorgar al recipiente contenedor, en este caso las botellas, siendo así que se espera conseguir un control óptimo para este proceso implementando el uso de este módulo [26].

En la Figura 57 se presenta el aspecto físico de un ESP32 para su apreciación, además de que seguidamente se muestran también las características técnicas más destacables de este microcontrolador en la Tabla 9 adjunta.



*Figura 57. Módulo ESP32. Fuente: Sitio web oficial del fabricante TSMC*

*Tabla 9. Tabla de características técnicas del módulo ESP32. Fuente: Sitio web oficial del fabricante TSMC*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Arquitectura</b>	Tensilica LX6
<b>Frecuencia</b>	240 MHz (dual core)
<b>Memoria RAM</b>	520 KB
<b>Memoria flash</b>	4 MB
<b>Wi-Fi</b>	802.11b/g/n/e/i (hasta 150 Mbps)
<b>Bluetooth</b>	v4.2 BR/EDR y BLE
<b>Seguridad</b>	IEEE 802.11, WFA, WPA/WPA2 y WAPI
<b>Encriptación</b>	AES, SHA-2, RSA, ECC y RNG

<b>Periféricos</b>	12-bit SAR ADC de hasta 18 canales, 2 × 8-bit DACs, 10 × sensores de tacto, 4 × SPI, 2 × I <sup>2</sup> S, 2 × I <sup>2</sup> C, 3 × UART, controlador host SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC
--------------------	---

### 3.1.2.3 Conjunto de Actuadores del sistema automatizado

#### Motor eléctrico trifásico

Un motor eléctrico trifásico convierte la energía eléctrica en energía mecánica, el motor tiene tres bobinas, las cuales están conectadas a las tres líneas de alimentación, la cual genera campos magnéticos rotativos en el embobinado, los campos magnéticos generados por las bobinas interactúan con el rotor, por lo general el rotor es de jaula de ardilla o de bobinas enrolladas, esta interacción provoca que el rotor gire. Los motores trifásicos tienen varias ventajas con respecto a los motores monofásicos, algunas de estas son: mayor eficiencia, arranque suave, mayor capacidad de carga, menor mantenimiento.

En la Figura 58 adjunta se presenta el aspecto físico en la vida real de un motor eléctrico trifásico, y además en la Tabla 10 se despliegan las características o especificaciones técnicas más resaltantes de este motor.



*Figura 58. Motor eléctrico trifásico. Fuente: Extraído de sitio web oficial de Siemens*

*Tabla 10. Características técnicas del motor trifásico. Fuente: Sitio web oficial de Siemens*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Fases</b>	3
<b>Voltaje</b>	220 V
<b>Corriente</b>	3.3 A
<b>Potencia</b>	1 Hp
<b>Frecuencia</b>	60 Hz

<b>Velocidad</b>	1720 rpm
<b>Factor de potencia</b>	0.77

### **Bomba SINGFLO-2202A**

La bomba de agua SINGFLO-2202A es una bomba compacta con una alimentación de 12 V DC, cuenta con un bajo consumo y es una bomba de diafragma la cual es autocebante. Las bombas de diafragma cuentan con un diafragma flexible el cual se mueve creando un vacío el cual permite succionar el líquido lo cual permite el bombeo de líquido.

En la Figura 59 adjunta se puede apreciar el aspecto físico en la vida real de una bomba SINGFLO-2202A, además en la Tabla 11 se despliegan las características técnicas correspondientes a esta bomba.



*Figura 59. Bomba SINGFLO-2202. Fuente: Web oficial del fabricante SINGFLO*

*Tabla 11. Características técnicas de la bomba FLO-2202. Fuente: Web oficial del fabricante SINGFLO*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Marca</b>	Singflo
<b>Potencia</b>	31.2 W
<b>Estructura</b>	Bomba de diafragma
<b>Tensión</b>	12V DC
<b>Corriente</b>	2.6 A MÁX
<b>Flujo máximo</b>	4.0 LPM
<b>Certificación</b>	Rohs, CE
<b>Material del cuerpo</b>	Castlron

<b>Diafragma</b>	Santopreno
------------------	------------

### **Máquina de tapado manual ZONESUN**

Es una máquina de tapado de botellas de la marca ZONESUN, la cual se puede utilizar para el tapado de botellas de diferentes tamaños y formas de tapas, es una maquina compacta y ligera, su uso es intuitivo ya que dispone de una perilla para calibrar el torque que ejerce y el botón de accionamiento de la máquina, cuenta con una capacidad de producción de 30 – 90 botellas /min.

Véase la Figura 60 para visualizar a detalle el aspecto físico de la máquina taponadora manual además de la Tabla 12 adjunta que muestra las características de dicha maquina taponadora.



*Figura 60. Maquina taponadora manual. Fuente: Web oficial de ZONESUN*

*Tabla 12. Tabla de características técnicas de la maquina taponadora manual. Fuente: Web oficial del fabricante ZONESUN*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Marca</b>	ZONESUN
<b>Material</b>	Aluminio PC
<b>Peso del artículo</b>	1.6 Kilogramos
<b>Potencia</b>	80 vatios
<b>Voltaje</b>	110 voltios AC

<b>Par de torsión</b>	50-25kgf.cm
<b>Calidad de la tapadora interior</b>	Taponadora de silicona antidesgaste

### Pistón neumático

Los pistones neumáticos Festo son dispositivos que convierten la energía del aire comprimido en movimiento lineal. Estos pistones se utilizan comúnmente en aplicaciones industriales para mover objetos o realizar tareas mecánicas.

Apreciar la Figura 61 para observar con mayor detalle el aspecto físico en la vida real de los cilindros de doble y simple efecto respectivamente, además en la Tabla 13 se detallan las características técnicas de los actuadores neumáticos



*Figura 61. Cilindros de doble y simple efecto. Fuente: Web oficial del fabricante Festo*

*Tabla 13. Tabla de características técnicas de los actuadores neumáticos. Fuente: Página oficial de Festo*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Carrera máxima</b>	1 ... 5000 mm
<b>Masa en movimiento</b>	0 ... 10000 Kg
<b>Potencia</b>	-10000 ... 10000 N
<b>Diámetro del vástago</b>	0 ... 1000 mm
<b>Ángulo de montaje</b>	0 ... 360 Deg
<b>Fugas internas</b>	0 ... 100 l/(min*MPa)
<b>Coefficiente de rozamiento estático</b>	0 ... 2
<b>Coefficiente de rozamiento dinámico</b>	0 ... 2

### 3.1.2.4 Conjunto de sensores

#### Sensor de flujo YF-S201

El sensor de flujo YF-S201 es un dispositivo sofisticado que mide el flujo de agua y da una salida eléctrica proporcional a la velocidad del flujo. Este tipo de sensor es comúnmente utilizado en aplicaciones como sistemas de medición de agua en proyectos de automatización o control de procesos en donde se requiera que el flujo de líquidos deba monitorearse y demás variadas aplicaciones.

Este caudalímetro electrónico de tipo turbina, está diseñado para medir el caudal de agua en tuberías de 1/2 pulgada de diámetro. También puede usarse con otros líquidos de baja viscosidad, como combustible, bebidas gasificadas, bebidas alcohólicas, etc [27].

En la Figura 62 se puede apreciar el aspecto físico de este flujómetro usado para el llenado de recipientes con fluidos, además de sus características técnicas más resaltantes expuestas en la Tabla 14 adjunta.



*Figura 62. Flujómetro YF-S201. Fuente: Web oficial del distribuidor Naylamp Mechatronics*

*Tabla 14. Tabla de características técnicas del flujómetro YF-S201. Fuente: Web oficial del distribuidor Naylamp Mechatronics*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Modelo</b>	YF-S201
<b>Voltaje de operación</b>	5 V - 18 V CC
<b>Consumo de corriente</b>	15 mA (a 5 V)

<b>Capacidad de carga</b>	10 mA (5 V CC)
<b>Salida</b>	Onda cuadrada pulsante
<b>Rango de flujo</b>	1 - 30 L/min
<b>Volumen promedio por pulso</b>	2.25 mL
<b>Pulsos por litro</b>	450
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-25 a 80 °C
<b>Rango de humedad de funcionamiento</b>	35%-80% RH (Humedad Relativa)
<b>Presión máxima del agua</b>	2,0 MPa

### Sensor capacitivo LJC18A3-BZ/BX

Un tipo de sensor llamado sensor capacitivo LJC18A3-BZ/BX puede detectar la presencia o proximidad de objetos sin necesidad de contacto físico. Es del tipo NPN y generalmente abierto (NO), lo que significa que la salida del sensor estará en estado "abierto" (sin conexión) cuando no detecte un objeto cercano y se cerrará (conectado a la tierra) cuando detecte un objeto cercano [28].

En la Figura 63 adjunta se puede apreciar cómo luce físicamente un sensor capacitivo del modelo descrito además de sus características técnicas detalladas en la Tabla 15.



**Figura 63.** Sensor capacitivo. Fuente: Sitio oficial de NAYLAMP Mechatronics

**Tabla 15.** Características técnicas del sensor capacitivo. Fuente: Sitio oficial de NAYLAMP Mechatronics

<b>Características técnicas</b>	
<b>Tipo</b>	Sensor capacitivo
<b>Configuración de salida</b>	NPN normalmente abierto (NO)
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	6-36 VCC
<b>Corriente de trabajo</b>	20 mA máx.
<b>Corriente de salida (carga)</b>	300 mA máx.
<b>Rango de detección</b>	1-5 mm (real)
<b>Dimensiones</b>	18 mm (diámetro) x 70 mm (longitud)
<b>Cuerpo</b>	Metálico roscado
<b>Longitud del cable</b>	1,8 m

### 3.1.2.5 Conjunto de componentes requeridos en la alimentación y distribución de aire comprimido para el sistema neumático

#### Compresor de aire L-S50-25

Los compresores de aire son equipos cuentan con un tanque donde almacenan y comprimen el aire para los diversos usos del usuario, existen distintos tipos de compresores como compresor de tornillo, compresor de pistón, compresor de paletas y compresor centrifugo también se pueden clasificar en estáticos y portátiles. Los portátiles se pueden transportar de un lugar a otro ya que su capacidad no es mayor.

Véase la Figura 64 para visualizar el aspecto físico de un compresor de aire ajustable y la Tabla 16 para observar las características técnicas de dicho compresor



**Figura 64.** Compresor de aire ajustable. Fuente: Página oficial de Festo

**Tabla 16.** Tabla de características técnicas del compresor de aire. Fuente: Página oficial de Festo

<b>Características técnicas</b>	
<b>Marca</b>	Festo
<b>Modelo</b>	L-S50-25
<b>Voltaje</b>	115 V
<b>Corriente</b>	4.8 A
<b>Potencia</b>	400 W
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Litros</b>	24 L
<b>Temperatura mínima</b>	0 °C
<b>Temperatura máxima</b>	40 °C
<b>Presión</b>	8 bar

### **Unidad de mantenimiento**

El implemento ideal para recibir y tratar adecuadamente el aire comprimido es el filtro regulador lubricador o unidad de mantenimiento, el cual está constituido por un separador de agua y una válvula reguladora de presión.

En la Figura 65 mostrada a continuación se puede apreciar una unidad de mantenimiento físicamente además de sus características técnicas ubicadas en la Tabla 17 adjunta.



**Figura 65.** Unidad de mantenimiento. Fuente: Extraído de página oficial de Festo

*Tabla 17. Características técnicas del FRL. Fuente: Página oficial de Festo*

Características técnicas	
<b>Presión a la que opera</b>	0 ... 2MPa
<b>Caudal máximo</b>	0 ... 5000 l/min

### **Distribuidor-T (neumático)**

El distribuidor neumático tipo T de Festo es un dispositivo utilizado en sistemas neumáticos para controlar el flujo de aire comprimido. Este tipo de distribuidor tiene un piloto, tres puertos de entrada y uno de salida. El aire comprimido ingresa a través de los puertos de entrada y sale a través del piloto al puerto de salida. Un actuador, como un interruptor o una válvula, permite el control del piloto.

En la Figura 66 se presenta una imagen para ilustrar el aspecto físico de la vida real de un distribuidor de aire tipo T de la marca Festo, así como sus características técnicas más destacadas las cuales se hallan recopiladas en la Tabla 18.



*Figura 66. Distribuidor neumático Tipo T. Fuente: Sitio web oficial de Festo*

*Tabla 18. Tabla de características técnicas del distribuidor neumático tipo T. Fuente: Sitio web oficial de Festo*

Características técnicas	
<b>Tipo de distribuidor</b>	T
<b>Marca</b>	Festo
<b>Presión de trabajo</b>	6-10 bar
<b>Presión de ruptura</b>	10-16 bar

<b>Flujo máximo</b>	500 l/min
<b>Temperatura de trabajo</b>	-20 a +60 °C
<b>Material</b>	Acero inoxidable

### Válvula reguladora de presión con manómetro

La válvula reguladora de presión con manómetro es un componente neumático que se utiliza para disminuir la presión de un flujo de aire comprimido. La válvula tiene un manómetro y un regulador de presión que permiten al usuario ver la presión de salida (Véase la Figura 67).

La gama de tamaños y capacidades de las válvulas reguladoras de presión con manómetro de Festo es amplia. Los tamaños G1/8, G1/4, G3/8, G1/2 y G3/4 son los más comunes. La presión de salida oscila entre 0,5 bar y 10 bar.

En la Tabla 19 se presentan las características técnicas más importantes de este componente.



**Figura 67.** Válvula reguladora de presión con manómetro. Fuente: Página oficial del fabricante Festo.

**Tabla 19.** Tabla de características técnicas de la válvula reguladora de presión con manómetro. Fuente: Datasheet de Festo

<b>Características técnicas</b>	
<b>Tipo</b>	Regulador de presión con manómetro
<b>Marca</b>	Festo
<b>Conexión</b>	Rosca o conector rápido
<b>Margen de regulación</b>	0,5 a 10 bar
<b>Precisión</b>	±0,2 bar

<b>Grado de filtración</b>	0,01 $\mu\text{m}$
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-20 a 60 °C
<b>Durabilidad</b>	>10 millones de ciclos
<b>Tamaño según tipo</b>	M7

### Válvula estranguladora

La válvula estranguladora es un dispositivo neumático que regula el caudal de aire comprimido en un sistema. Está formada por un cuerpo, un elemento de ajuste y dos conexiones neumáticas. El elemento de ajuste, que es una aguja o un tornillo se encarga de regular la apertura de un orificio, está alojado en el cuerpo. La válvula se puede conectar a una fuente de aire comprimido y a un sistema neumático mediante conexiones neumáticas (Véase la Figura 68).

Las válvulas estranguladoras Festo se distinguen por su rendimiento, calidad y confiabilidad. Para satisfacer las necesidades de cualquier aplicación, se hallan disponibles en una amplia gama de configuraciones y tamaños.

En la Tabla 20 se recopilan las características técnicas más relevantes de este elemento.



**Figura 68.** Válvula estranguladora. Fuente: Sitio web oficial del fabricante Festo

**Tabla 20.** Tabla de características técnicas de la válvula estranguladora. Fuente: Datasheet de Festo

<b>Características técnicas</b>	
<b>Función</b>	Control del caudal de aire comprimido
<b>Tipos de conexión</b>	QS-3, QS-4, PK-3
<b>Elemento de ajuste</b>	Tornillo moleteado

<b>Presión de funcionamiento</b>	0-10 bar
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-20 a +80 °C
<b>Materiales</b>	Acero inoxidable, plástico

### **Mangueras PUN-12X2-BL**

Está claro que cualquier sistema neumático necesita de mangueras, en este caso las que se hallan presentes en el módulo didáctico de la marca Festo. Estas se utilizan comúnmente para llevar aire comprimido a los actuadores y demás componentes neumáticos desde la fuente de alimentación. Estas mangueras se pueden encontrar en una amplia gama de materiales, diámetros y longitudes para que se puedan adaptar a una moderada variedad de aplicaciones.

Regularmente estas mangueras están hechas de PTFE, polietileno, poliamida, poliuretano, entre otros materiales. El material de la manguera se elige en función del entorno y de las aplicaciones particulares.

Las mangueras tienen diferentes diámetros en milímetros. El diámetro de la manguera se especifica por la cantidad de aire comprimido que se debe transportar.

Si se habla de longitudes de mangueras utilizadas en sistemas neumáticos, todas se hallan expresadas en metros. La longitud de la manguera se determina en función de la distancia entre la fuente de alimentación, los actuadores y demás componentes neumáticos.

En la Figura 69 se presenta una gráfica que retrata el aspecto en la vida real de las mangueras de la marca Festo ocupadas en sistemas neumáticos.



*Figura 69. Mangueras neumáticas. Fuente: Sitio web oficial del fabricante Festo*

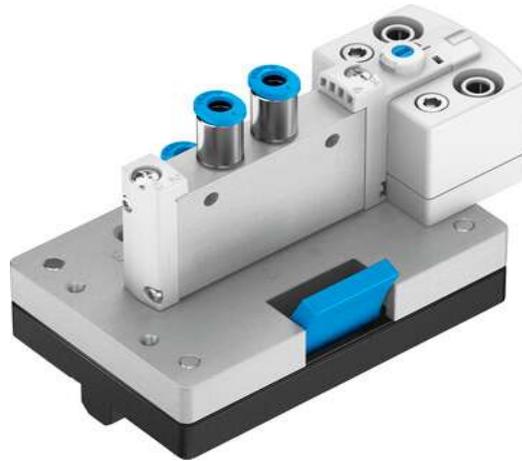
### 3.1.2.6 Conjunto de elementos electroneumáticos/electrohidráulicos

#### Electroválvula monoestable de 5/2 vías

Este es un dispositivo electromecánico que regula el flujo de aire comprimido. Cuenta con un puerto de escape (5), dos puertos de entrada (1 y 2) y dos puertos de salida (3 y 4).

Básicamente funciona con ayuda de un solenoide eléctrico interno el cual da lugar a que se pueda accionar entre otras cosas, un vástago. Al encontrarse activo el solenoide, el vástago produce movimiento y enlaza los puertos de entrada 1 y 3. Por otro lado, cuando el solenoide se halla inactivo, el vástago retorna a su posición de origen y se conecta a los puertos de entrada 2 y 4.

En la Figura 70 se presenta el aspecto físico de una electroválvula monoestable de 5/2 vías mediante una imagen ilustrativa, así como un conjunto de características técnicas recopiladas en la Tabla 21.



*Figura 70. Electroválvula monoestable de 5/2 vías. Fuente: Página oficial del fabricante Festo*

*Tabla 21. Tabla de características técnicas de la electroválvula monoestable de 5/2 vías. Fuente: Página oficial del fabricante Festo*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Función</b>	Monoestable de 5/2 vías
<b>Tipo de accionamiento</b>	Eléctrico
<b>Tamaño de válvula</b>	18 mm
<b>Caudal nominal normal</b>	550 l/min

<b>Conexión neumática de utilización</b>	Placa base, tamaño 18 mm, según ISO 15407-1
<b>Presión de funcionamiento</b>	1.5 bar ... 8 bar
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-20 °C ... +60 °C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-40 °C ... +70 °C
<b>Material del cuerpo</b>	Aluminio
<b>Peso</b>	140 g
<b>Dimensiones</b>	37 x 25 x 8 mm
<b>Posición de montaje</b>	Cualquiera
<b>Accionamiento manual auxiliar</b>	Sin enclavamiento
<b>Clasificación de protección</b>	IP65

### **Electroválvula biestable de 5/2 vías**

Es una válvula solenoide de 2 vías, para el control de fluidos como agua, óleo, gas, entre otros, cuenta con un puerto de entrada y un puerto de salida el cual es accionado por medio de un solenoide, el cual es un dispositivo electromagnético, cuando se energiza la válvula el solenoide abre la puerta de entrada permitiendo que el fluido fluya, cuando se desenergiza la válvula, el solenoide regresa a su estado de reposo cerrando el puerto de entrada bloqueando la circulación del fluido, es una válvula NC (normalmente cerrada), esto significa que cuando se energiza la válvula se abre y mientras no este energizada la válvula se cierra.

Obsérvese la Figura 71 para más detalle sobre el aspecto físico de una electroválvula 5/2 además de la Tabla 22 adjunta en donde se plasman las características técnicas de dicha electroválvula.



*Figura 71. Electroválvula biestable de 5/2 vías. Fuente: Página oficial de Festo*

*Tabla 22. Tabla de características técnicas de la electroválvula 5/2. Fuente: Página oficial de Festo*

<b>Características técnicas</b>	
<b>Función</b>	Biestable de 5/2 vías
<b>Tipo de accionamiento</b>	Eléctrico
<b>Tamaño de válvula</b>	18 mm
<b>Caudal nominal normal</b>	550 l/min
<b>Conexión neumática de utilización</b>	Placa base, tamaño 18 mm, según ISO 15407-1
<b>Presión de funcionamiento</b>	1,5 bar ... 8 bar
<b>Presión de prueba</b>	16 bar
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-10 °C ... +60 °C
<b>Medios</b>	Aire comprimido, seco, libre de aceite
<b>Conexión eléctrica</b>	24 V DC, 24 V AC
<b>Dimensiones (L x A x H)</b>	52,5 x 32 x 30,5 mm
<b>Peso</b>	25 g
<b>Accionamiento manual</b>	Sin enclavamiento
<b>Posición de montaje</b>	Cualquiera
<b>Protección contra la intemperie</b>	IP67

### **Válvula solenoide ZE-4F180**

La válvula solenoide de 12 V ZE-4F180 es un dispositivo electromecánico que controla el flujo de agua. Un electroimán, un diafragma y un cuerpo de válvula lo componen. Una señal eléctrica activa el electroimán, atrae el diafragma y abre la

válvula. La válvula se cierra cuando se desconecta la señal eléctrica y el electroimán procede a desactivarse.

Es fundamental tener en consideración que antes de utilizar la válvula solenoide, se debe verificar la compatibilidad con el fluido, la presión y la temperatura de trabajo para garantizar un funcionamiento adecuado y una larga vida útil [29].

Véase la Figura 72 en la cual se muestra el aspecto físico de una válvula solenoide ZE-4F180, además de la Tabla 23 en la que se recopilan las características técnicas más relevantes de este componente.



**Figura 72.** Válvula solenoide para fluidos ZE-4F180. Fuente: Portal oficial del distribuidor MICROJPM

**Tabla 23.** Tabla de características de la válvula solenoide de agua ZE-4F180. Fuente: Portal oficial del distribuidor MICROJPM

<b>Características técnicas</b>	
<b>Tipo</b>	Electromagnética
<b>Material</b>	Plástico y metal
<b>Tamaño nominal</b>	1/2 pulgada
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	12 V CC
<b>Consumo de corriente</b>	450 mA
<b>Presión de trabajo</b>	0,02 a 0,8 MPa
<b>Temperatura de trabajo</b>	-10 a 90 °C
<b>Modo de funcionamiento</b>	Normalmente cerrada
<b>Potencia nominal</b>	5 W
<b>Flujo característico</b>	1.5 L/min, 20 L/min
<b>Dimensiones</b>	8.5cm x 4.5cm

<b>Peso</b>	100 g
-------------	-------

### **3.1.2.7 Conjunto de componentes para la etapa de inspección de presencia/ausencia de tapas en las botellas por medio de la visión por máquina**

#### **Cámara genérica de 1080p**

Una cámara web de 1080p para PC estándar tiene una resolución de 1920 x 1080 píxeles. Esto le permite capturar imágenes y videos de alta calidad. Las cámaras de PC de 1080p son ideales para grabaciones en vivo, llamadas y videoconferencias, así como para otras actividades cotidianas.

Para aplicaciones de alta demanda como lo puede ser el procesamiento de imágenes en sistemas de visión por máquina, cámaras de este estilo pueden ser de utilidad y una alternativa económica si no se cuenta con los recursos suficientes para una cámara certificada usada específicamente para este tipo de aplicaciones, puesto que funciona de manera similar haciendo las veces de elemento captador y sus diferencias son muy pocas con respecto a las cámaras especializadas.

En la Figura 73 adjunta se muestra el aspecto de una webcam genérica de 1080p para uso general además de las características básicas de la misma recopiladas en la Tabla 24.



*Figura 73. Cámara genérica para PC de 1080p. Fuente: Web del fabricante Logitech*

**Tabla 24.** Tabla de características técnicas de cámara genérica para PC de 1080p. Fuente: Sitio web oficial de Logitech

<b>Características técnicas</b>	
<b>Resolución</b>	1920 x 1080 píxeles
<b>Velocidad de fotogramas</b>	30 o 60 fps
<b>Tipo de conexión</b>	USB
<b>Tipo de zoom</b>	digital
<b>Tipo de enfoque</b>	automático

## **Laptop**

El componente en el cual se desarrolla el código o algoritmo además del resto del procedimiento que incluye desde la codificación, instalación de librerías, entrenamiento del modelo para probar el algoritmo y hasta la visualización en tiempo real de la detección mediante su conexión con la cámara, es la Laptop.

Dicho componente es una máquina con unas características técnicas consideradas competentes para tareas pesadas como el procesamiento de imágenes y cualquier otra que demande un alto gasto computacional. En la Figura 74 se presenta una imagen de la Laptop en cuestión y en la Tabla 25 se recopilan sus características técnicas más relevantes.



**Figura 74.** Laptop gaming HP Pavilion 15. Fuente: Sitio web oficial del fabricante HP

**Tabla 25.** Tabla de características técnicas de la Laptop usada para la visión por máquina. Fuente: Datasheet fabricante HP

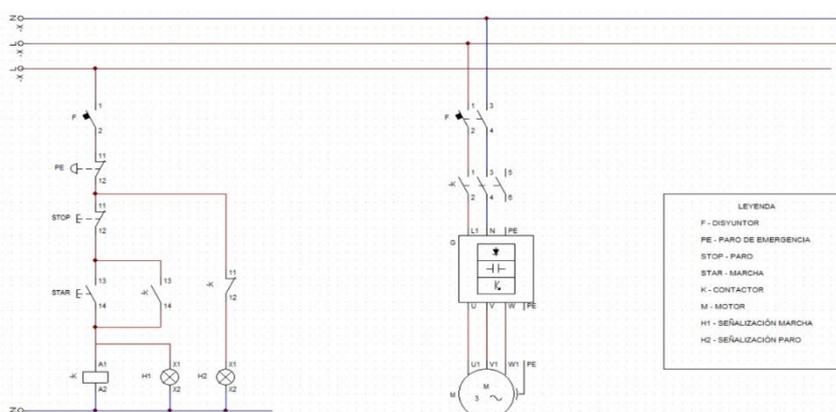
<b>Características técnicas</b>	
<b>Procesador</b>	AMD Ryzen 5 5600H
<b>Velocidad</b>	Desde 3.3 GHz hasta 4.2 GHz
<b>Núcleos</b>	6
<b>Hilos</b>	12

<b>Gráficos</b>	NVIDIA GeForce GTX 1650
<b>Memoria</b>	8 GB DDR4
<b>Almacenamiento</b>	256 GB SSD M.2 NVMe™
<b>Sistema operativo</b>	Windows 11 Home
<b>Peso</b>	2.26 kg
<b>Dimensiones</b>	361 x 256 x 22.5 mm
<b>Conectividad</b>	Wi-Fi 6 (802.11ax), Bluetooth 5.2
<b>Puertos</b>	2 x USB-A 3.2 Gen1, 1 x USB-C 3.2 Gen2, HDMI, RJ45, lector de tarjetas SD

### 3.2 Diseño de la propuesta

#### 3.2.1 Diagrama de fuerza y control del tablero eléctrico del sistema automatizado elaborado en CADESIMU

En la Figura 75 adjunta a continuación se presenta el diagrama de control y fuerza del tablero eléctrico que contiene los componentes que ponen en marcha o que detienen el funcionamiento del sistema. Se cuenta con las líneas de alimentación y la línea de neutro para alimentar el tablero, un breaker o disyuntor para habilitar o deshabilitar la alimentación, un pulsador de paro de emergencia para desenergizar el sistema en caso de una emergencia, pulsadores de marcha o paro para poner a andar o detener el sistema, la bobina de un contactor el cual se encarga de enclavar o desenclavar la energización del sistema, señalizaciones tanto de marcha como de paro para indicar ambos estados y por último el motor el cual es manejado a través del uso y conexión con el variador de frecuencia.



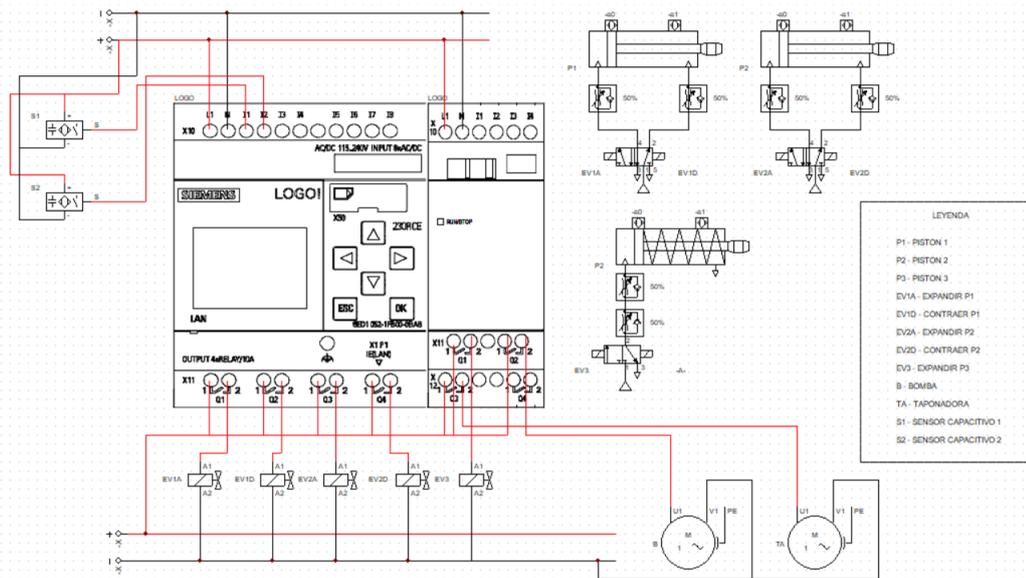
**Figura 75.** Diagrama de fuerza y control del tablero eléctrico. Fuente: Autoría propia

### **3.2.2 Diagrama de conexión de entradas/salidas al controlador del sistema automatizado elaborado en CADESIMU**

En la Figura 76 adjunta a continuación se muestra el esquema de conexiones de entradas y salidas, principalmente sensores y actuadores presentes en el sistema automatizado, al controlador LOGO de Siemens con su respectivo módulo amplificador de E/S ya adaptado.

Como elemento central está el controlador LOGO el cual en la parte superior tiene sus puertos para alimentación, los cuales son 2, y sus puertos para las entradas digitales que vendrían a ser 4, más adicionalmente las que proporciona el módulo de ampliación, que son 4 adicionales, haciendo un total de 8 entradas digitales. En estos puertos de entradas van conexionados todos los sensores que hay presentes en el sistema, en este caso, dos sensores capacitivos para detectar la presencia de las botellas en la línea de producción.

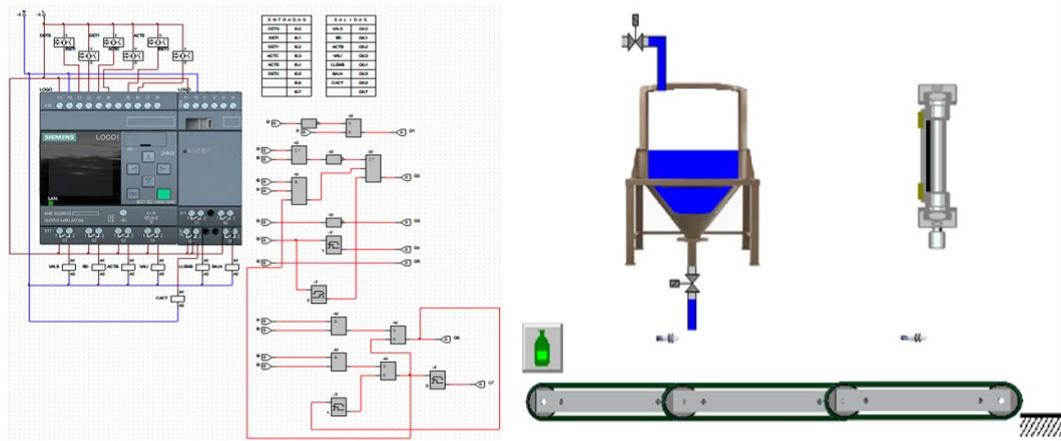
Por otro lado, en la parte inferior del controlador LOGO, se hallan dispuestos los puertos para las salidas, las cuales inicialmente sólo con el controlador son 4 pero con la integración del módulo de ampliación de E/S, pasan a ser 8 dado que son 4 salidas digitales adicionales. En estos puertos de salidas van conexionados en cambio todos los actuadores presentes en el sistema, que en este caso vienen a ser 3 pistones neumáticos que realizaran las acciones de contracción y expulsión de sus vástagos, de acuerdo a lo que se le asigne a cada uno, también está la bomba la cual se encargara de complementar el proceso de llenado de las botellas y estará controlada por el LOGO, y ya por último está la máquina taponadora la cual se ocupa del proceso de sellado.



**Figura 76.** Esquema de conexión de entradas y salidas al controlador LOGO. Fuente: Autoría propia

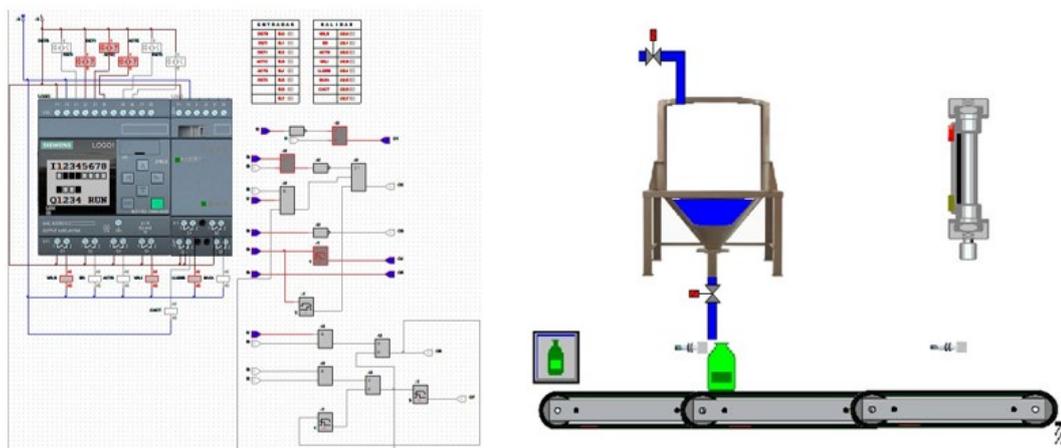
### 3.2.3 Diseño y simulación del proceso de llenado y sellado de las botellas en PC SIMU + CADESIMU

En la Figura 77 adjunta se presenta el esquema de conexiones al LOGO y el diseño de la línea de producción en PC SIMU para probar en la simulación tanto el proceso de llenado como el proceso de taponado. Entre las conexiones al LOGO se tiene a los sensores capacitivos por parte de las entradas y las válvulas tanto de apertura como de cierre y el actuador neumático encargado del sellado por parte de las salidas. Todos estos últimos componentes mencionados también están en el diseño elaborado en el entorno de simulación, posicionados adecuadamente para que al momento de ejecutar la simulación esta se desarrolle de la mejor manera posible.



**Figura 77.** Esquema de conexiones al LOGO y diseño de la línea de producción para la simulación. Fuente: Autoría propia

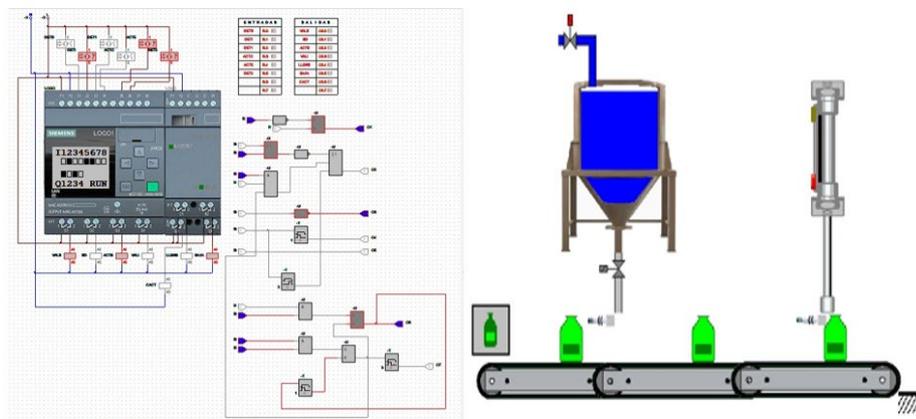
En la Figura 78 adjunta a continuación se puede apreciar como al ejecutar la simulación, la primera etapa o proceso en llevarse a cabo es el de llenado, para el cual se dispuso de un contenedor para el fluido, conductos y dos válvulas para la apertura y cierre del flujo de líquido. De acuerdo a los temporizadores establecidos en el diagrama de conexiones en CADESIMU, el llenado se produce durante 3 segundos apenas el recipiente trasladado a través de la banda transportadora es captado por el sensor capacitivo. Se apertura la válvula para dar paso al fluido hacia el recipiente lo cual por consiguiente da lugar al llenado. Transcurridos los 3 segundos tras el llenado, se cierra la válvula y la botella continúa circulando a lo largo de la línea de producción.



**Figura 78.** Simulación del proceso de llenado. Fuente: Autoría propia

Por último, en la figura 79 adjunta a continuación se representa a través de la simulación el proceso o etapa de sellado, para la cual se dispuso un sensor

capacitivo y un actuador neumático sellador en el diseño de la línea de producción. Entonces, de acuerdo a lo que se estableció en los temporizadores, el sellado debe producirse durante 2 segundos, previo a los cuales la botella o las botellas que ya pasaron por el proceso de llenado, llegan a la zona de captación del sensor capacitivo el cual envía la señal al actuador neumático para que este expulse su vástago y produzca el sellado respectivo durante el tiempo que se ha impuesto, el cual es de 2 segundos. Transcurrido este tiempo, la botella continuara por la banda transportadora hasta llegar al final de la misma en donde se almacena el producto ya elaborado.



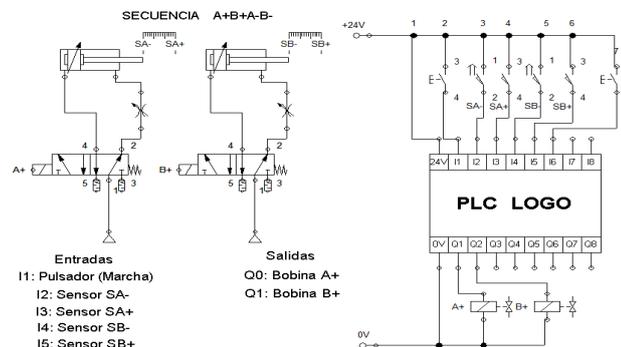
*Figura 79. Simulación del proceso de sellado. Fuente: Autoría propia*

### 3.2.4 Diseño y simulación de la secuencia de movimientos para los actuadores neumáticos del sistema en FLUIDSIM

Tal y como se observa en la Figura 80, se ha elaborado el diseño para representar la secuencia de movimientos a realizar por parte de los actuadores neumáticos del sistema, lo cuales son dos de doble efecto. Para el diseño, se dispuso de un módulo digital que hace las veces de controlador, una línea de alimentación de 24 V y otra de neutro, dos pulsadores NA, dos contactos NA y dos contactos NC para la activación y desactivación de las señales de los sensores en las entradas del módulo digital.

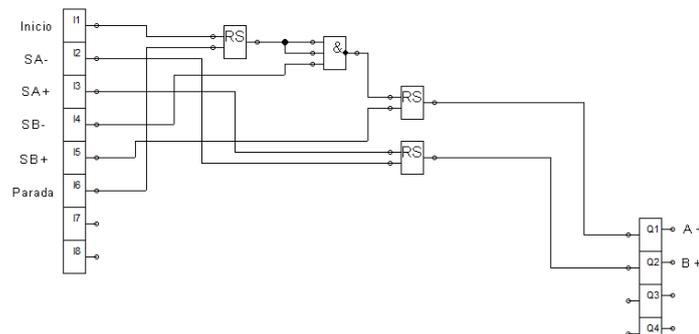
Por otro lado, en las salidas del módulo se han dispuesto para conectar dos bobinas con sus respectivos solenoides de válvula para controlar el bloqueo o traspaso del aire comprimido. En cuanto al diseño de la parte neumática, como ya se hizo

mención se tienen dos actuadores neumáticos de doble efecto, dos válvulas estranguladoras, dos válvulas 5/2 y dos fuentes de alimentación neumática.



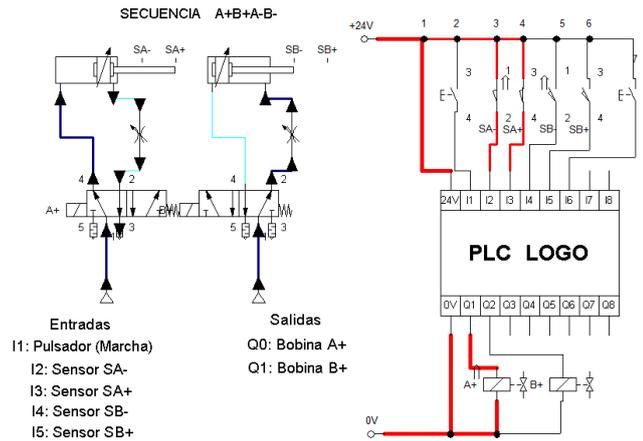
**Figura 80.** Diseño de conexiones a LOGO para secuencia de movimientos de actuadores neumáticos. Fuente: Autoría propia

En la Figura 81 adjunta se tiene el diagrama de conexiones lógico, tanto para las entradas como para las salidas que se han conectado al módulo digital. Esto permite que el módulo digital se encuentre programado, de modo que así pueda enviar las órdenes a los sensores y actuadores.



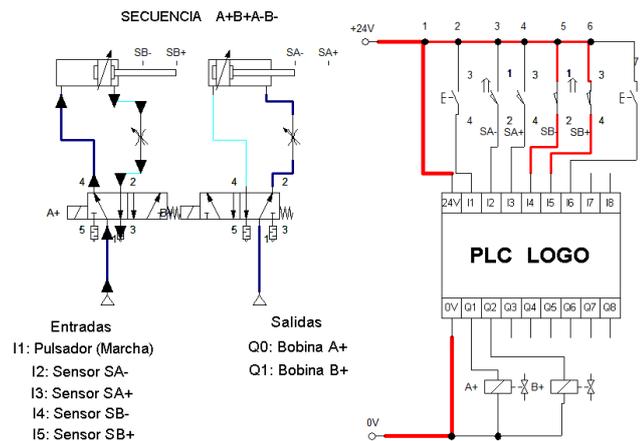
**Figura 81.** Esquema de conexiones en el módulo digital para la secuencia de movimientos. Fuente: Autoría propia

En la Figura 82 adjunta se puede apreciar que, al ejecutar la simulación del diseño, en el actuador neumático gobernado por las señales que manda el sensor SA, el vástago de este actuador realiza los movimientos de expulsión desde su posición inicial (SA+) y de retorno (SA-) a la misma.



**Figura 82.** Actuador neumático de SA ejecutando sus movimientos de expulsión y retorno de vástago. Fuente: Autoría propia

Por último, en la Figura 83 adjunta se puede apreciar que, al ejecutar la simulación del diseño, en el actuador neumático gobernado por las señales que manda el sensor SB, el vástago de este actuador realiza los movimientos de expulsión desde su posición inicial (SB+) y de retorno (SB-) a la misma.

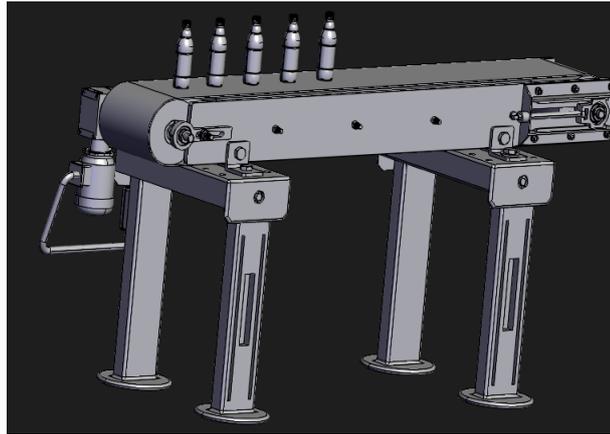


**Figura 83.** Actuador neumático de SB ejecutando sus movimientos de expulsión y retorno de vástago. Fuente: Autoría propia

### 3.2.5 Diseños o modelados en 3D de los componentes físicos más importantes

#### Banda transportadora

En la Figura 84 adjunta se presenta el modelado en 3D elaborado en la página web cadcrowd de la banda transportadora que se está ocupando en el sistema y la cual es la responsable de trasladar las botellas a través de las diferentes etapas de la línea de producción.

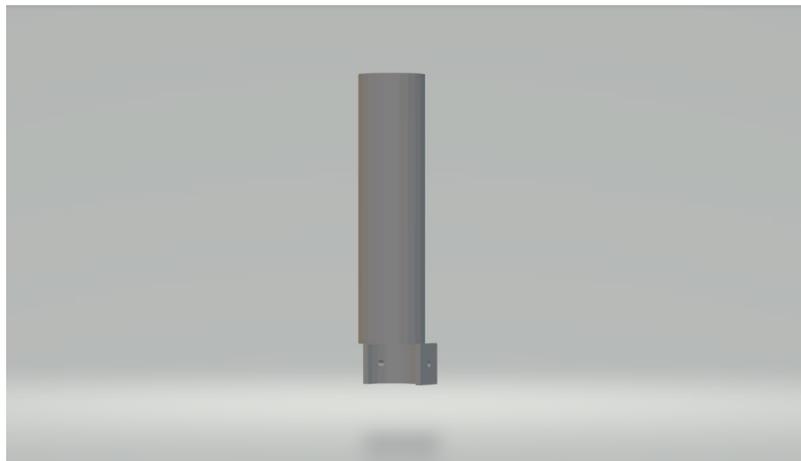


*Figura 84. Vista frontal del modelado 3D de la banda transportadora. Fuente: Autoría propia*

### **Contenedor dispensador de tapas para botellas**

#### **- Estructura para contenedor de tapas**

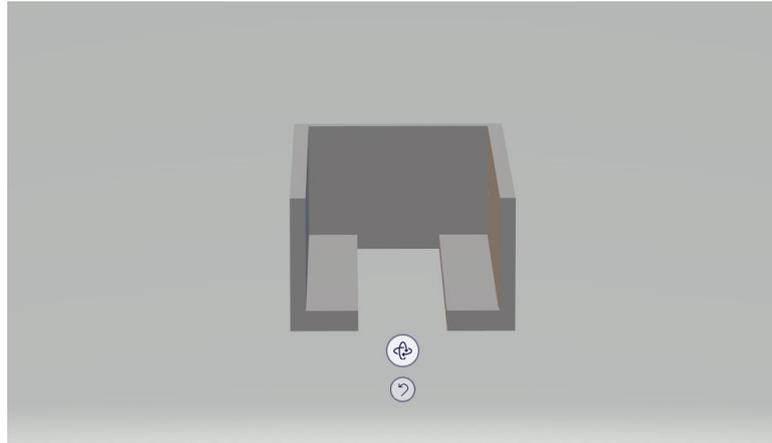
En la Figura 85 adjunta se presenta el modelado en 3D elaborado en el software Paint 3D correspondiente al objeto contenedor de las tapas ocupadas para el proceso de taponado de las botellas.



*Figura 85. Vista del modelado 3D del contenedor de las tapas. Fuente: Autoría propia*

#### **- Base para el proceso de dispensado de tapas**

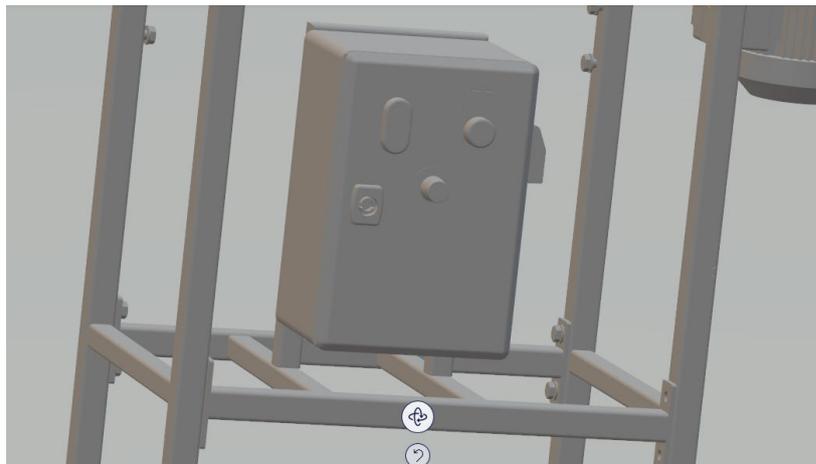
En la Figura 86 adjunta se presenta el modelado en 3D elaborado en el software Paint 3D correspondiente a la base que se acopla al objeto que contiene las tapas usadas para el sellado de las botellas y la cual es la que permite que dichas tapas puedan ser dispensadas correctamente para llevar a cabo el tapado.



**Figura 86.** Vista del modelado 3D de la base para el dispensado de las tapas. Fuente: Autoría propia

### **Tablero eléctrico de control**

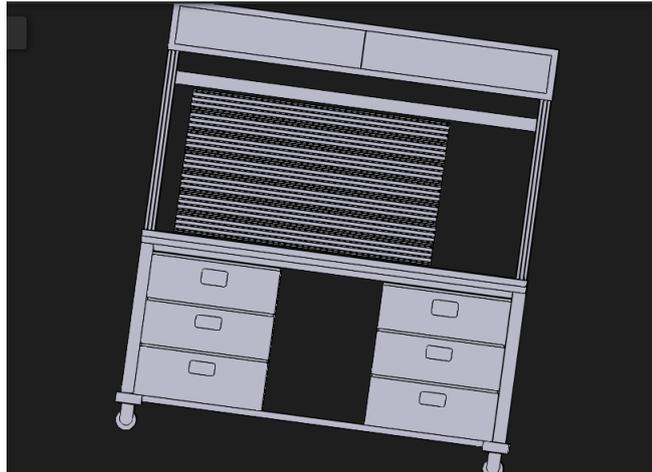
En la Figura 87 adjunta se presenta el modelado en 3D elaborado en el software Paint 3D correspondiente al tablero eléctrico de control, el cual se encarga de poner en marcha o parar parcialmente el sistema según se desee.



**Figura 87.** Vista del modelado 3D del tablero eléctrico de control del sistema automatizado. Fuente: Autoría propia

### **Módulo didáctico de Neumática**

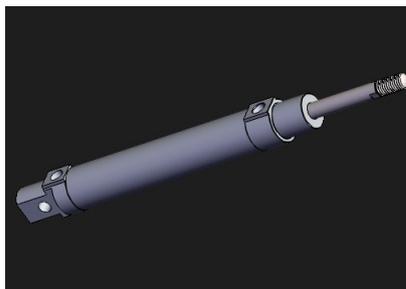
En la Figura 88 adjunta se presenta el modelado en 3D elaborado en la página web cadcrowd, la cual representa al módulo didáctico de neumática ocupado para ubicar al controlador y extraer los componentes neumáticos y electroneumáticos que se requieren para el sistema.



*Figura 88. Vista frontal del modelado 3D del módulo didáctico de Festo. Fuente: Autoría propia*

### **Actuadores neumáticos**

Véase la Figura 89 adjunta, en la cual se representa por medio de un modelado en 3D elaborado en la página web cadcrowd el aspecto tridimensional del tipo de actuadores neumáticos que se están ocupando para el sistema, concretamente los de doble efecto.



*Figura 89. Vista del modelado 3D del actuador neumático de doble efecto. Fuente: Autoría propia*

Véase la Figura 90 adjunta, en la cual se representa por medio de un modelado en 3D elaborado en la página web cadcrowd el aspecto tridimensional del vástago del cilindro neumático de doble efecto, el cual es el que realiza los movimientos de expulsión y retracción según se requiera.



*Figura 90. Vista del modelado 3D del vástago del actuador neumático de doble efecto. Fuente: Autoría propia*

### 3.2.6 Montaje de la planta

Se presentan las distintas etapas de la construcción de la planta, desde la adquisición de los materiales hasta la totalidad de la planta montada.

#### 3.2.6.1 Construcción de banda transportadora

Inicialmente para poder llevar a cabo el montaje de la planta, se ha decidido que la construcción de la banda transportadora era prioritaria, puesto que esta viene a ser el centro de toda la planta, ya que en ella se colocan muchos de los sensores y actuadores del proceso, por lo tanto, la banda transportadora ha sido el primer componente de la propuesta en articularse para ser usado conforme se ha ido avanzando en la implementación de todo lo planificado (Véase la Figura 91).



*Figura 91. Fases iniciales de la construcción de la banda transportadora*

Tras conseguirse los materiales y herramientas necesarias, la construcción se pudo ejecutar. Se acoplaron las poleas, se unieron las estructuras al cuerpo de la banda, se hizo uso de soldadura para unir partes, se ajustaron los rodillos y se ha asegurado todo correctamente con tornillos y tuercas. Se ha aplicado una capa de pintura anticorrosión para darle un buen acabado a la banda y dejarla presentable. Con esto último el componente se halla listo para poder ser trasladado al lugar en el que se va a quedar fijo y en donde se espera continuar con la implementación del trabajo de titulación (Véase la Figura 92).



*Figura 92. Banda transportadora en fases finales de construcción*

### **3.2.6.2 Construcción de piezas para posicionamiento y fijación de componentes**

#### **Piezas para posicionar actuadores neumáticos en el cuerpo de la banda transportadora.**

Con la finalidad de poder conseguir que los actuadores neumáticos, en este caso dos pistones, uno de simple efecto y otro de doble efecto quedaran posicionados de forma fija en el cuerpo de la banda, se ha dispuesto la elaboración de un par de piezas metálicas en las cuales la idea es colocar los actuadores neumáticos y mediante los seguros rotatorios con los que cuentan estos asegurarlos en dichas piezas para que se queden ya fijados. Estos actuadores son los que, al recibir la señal de detección de las botellas por parte de los sensores, proceden a expulsar sus vástagos para detener las botellas tanto en el proceso de llenado como en el de sellado, por ello es que se requiere que estén en todo el largo del recorrido de las botellas a través del cuerpo de la banda transportadora (Véase la Figura 93).



*Figura 93. Elaboración y resultado final de piezas para colocar y posicionar actuadores neumáticos. Pieza 1 para posicionar actuador de doble efecto y Pieza 2 para posicionar actuador de simple efecto.*

### **Piezas para ubicar los sensores capacitivos en el cuerpo de la banda transportadora.**

Para conseguir que los sensores cuenten con un posicionamiento adecuado en lo que respecta a su función a desempeñar, la cual es la detección de presencia de botellas en la línea de producción, se hizo necesario elaborar un par de piezas hechas a la medida de los sensores y de las barandas que mantienen la estabilidad de las botellas al ser trasladadas a lo largo de la cinta. Los sensores serian colocados y ajustados en estas piezas mediante los seguros tipo anillo con los que ellos cuentan, de modo que así quedarán fijos y por consiguiente puedan ser ubicados con total libertad en cualquier punto de las barandas de la banda transportadora (Véase la Figura 94).



*Figura 94. Sensores capacitivos acoplados en las piezas elaboradas para contenerlos y ubicarlos*

### **Pieza para adaptar actuador neumático con maquina selladora en estructura exclusiva de la banda transportadora.**

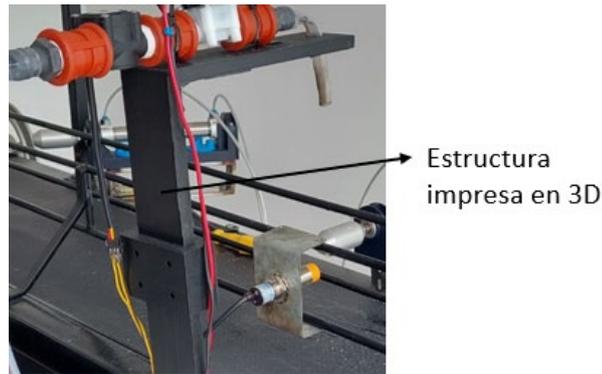
Para el caso de la máquina taponadora, la opción más viable para poder conseguir que esta pueda desempeñar su función correctamente es adaptándola con un actuador neumático que al expulsar y retraer su vástago permita a la máquina taponadora bajar para generar el sellado y subir a su posición de origen una vez el sellado se haya concretado. Para esto, se ha elaborado una pieza con la cual la integración del actuador con la máquina selladora se hace posible, enroscando por un lado la punta del vástago del actuador en esta estructura y ajustando a la máquina selladora con una correa metálica en el otro, logrando así que la máquina selladora pueda cumplir con su cometido (Véase la Figura 95).



*Figura 95. Pieza elaborada y usada para adaptar actuador y máquina selladora*

### **Estructura para ubicar componentes de la etapa de llenado en el cuerpo de la banda transportadora.**

Al igual que con el caso de los anteriores componentes colocados y adaptados en piezas, para la etapa de llenado tanto el flujómetro como la válvula solenoide para fluidos requieren de una estructura hecha a medidas de ellos para poder colocarlos y posicionarlos adecuadamente en el cuerpo de la banda, de modo que la etapa de llenado se pueda dar sin novedad alguna. En esta estructura también pasaran los conductos o tubos por los que circula el agua, succionada directamente desde un contenedor y que se usa para llenar las botellas (Véase la Figura 96).



**Figura 96.** Estructura impresa en 3D para ubicar los componentes de la etapa de llenado en el cuerpo de la banda transportadora

### 3.2.6.3 Inclusión del módulo de expansión de entradas y salidas en la estructura contenedora del controlador LOGO

Para poder expandir el número de entradas y salidas en el sistema se ha considerado necesario adquirir un módulo de expansión para ser adaptado al controlador LOGO, el cual se hallaba incrustado en una estructura previamente ya construida y exclusiva para él. Por tal motivo, se procede a extraer dicha estructura que se encuentra colocada en la parte superior del módulo didáctico de neumática. Una vez retirado, se desconectaron entradas/salidas y se le hizo un espacio en el cual el módulo de expansión pudo encajar justamente. Ya colocado el módulo de expansión se volvieron a conectar entradas y salidas, incluyendo las nuevas para el módulo, se cerró todo con cuidado y se devolvió el contenedor del controlador más ahora el módulo de expansión a su lugar (Véase la Figura 97).

Expansor de entradas y salidas

LOGO Soft!



**Figura 97.** Módulo sin adaptar/Módulo ya adaptado al controlador y colocado en la estructura contenedora

#### 3.2.6.4 Armado de tablero eléctrico de control

Para concretar el armado del tablero eléctrico de control, es clave conseguir para empezar el tablero o contenedor metálico en donde se van a proceder a disponer todos los elementos eléctricos y de control, tal fue el caso pues aquello ha sido lo primero a realizar para dar forma al tablero. Una vez se cuente tanto con el tablero para ubicar los componentes como con los propios componentes, se procede a seguir el diagrama de fuerza y control elaborado en CADESimu para poco a poco ir conectando todos y cada uno de los elementos que componen al tablero de control, entre los cuales están los breakers, contactor, variador de frecuencia, centro de masa, pulsadores, luces piloto y demás. Este tablero se va a energizar sacando alimentación 220 V de la caja de breakers principal del lugar en el cual se está desarrollando el trabajo de titulación (Véase la Figura 98).

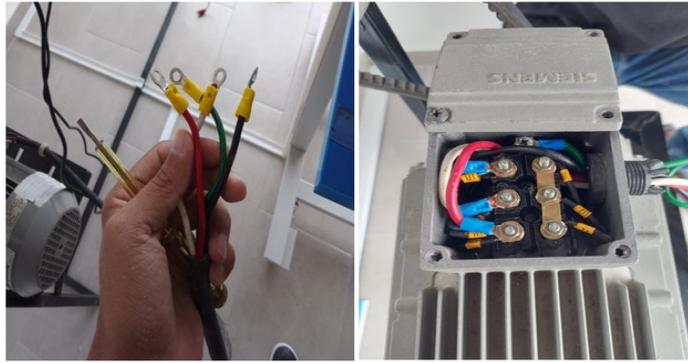


*Figura 98. Adquisición y armado de tablero eléctrico de control para el sistema*

#### 3.2.6.5 Cableado y conexiones de los sensores-actuadores del sistema

##### Conexión del motor eléctrico trifásico

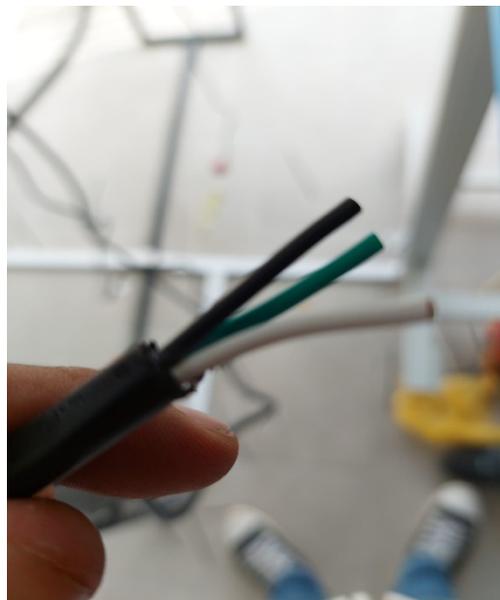
Para el motor eléctrico trifásico que pone a andar la banda transportadora, al ponerse este en marcha desde el tablero eléctrico de control requiere que previamente sea conectado con una determinada configuración, dependiendo claro del tipo de motor, siendo este de corriente alterna y de acuerdo al análisis realizado se deduce que dicho motor necesita de una conexión en doble triángulo o doble delta para posteriormente conectarse al variador de frecuencia (Véase la Figura 99).



*Figura 99. Motor sin conexión/Motor conectado en delta-delta*

### **Cableado de máquina taponadora**

Por su parte la máquina taponadora requiere de expandir su cableado, dado que esta se conectará al tablero eléctrico de control para poder ser alimentada y de igual manera controlada. El cableado supuso pasar cable para llegar hasta el tablero de control, dicho cableado este compuesto de tres cables (calibre AWG #18): uno para alimentación, otro para neutro y otro para señal. El cableado se ajusta con amarras plásticas y se almacena en canaletas dispuestas a lo largo y ancho de la planta hasta el tablero, de modo que así todo luzca mucho más organizado y presentable a la vista (Véase la Figura 100).



*Figura 100. Cableado realizado para máquina taponadora*

### **Cableado para sensores de proximidad capacitivos**

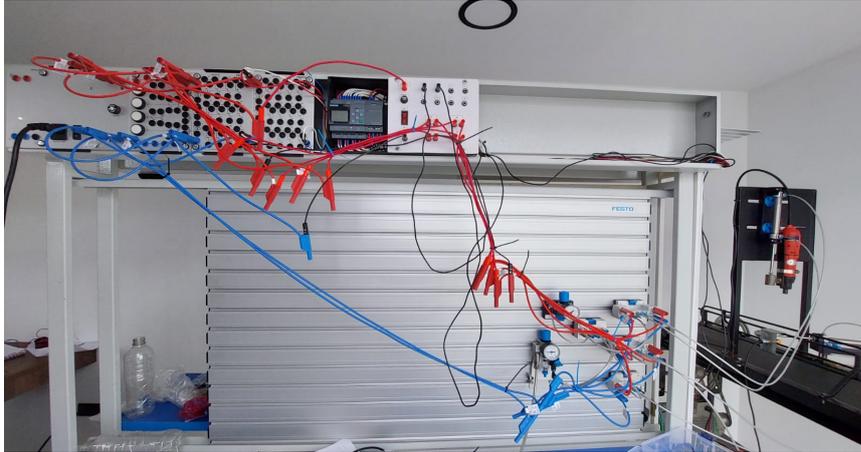
Para el caso de los sensores capacitivos, estos requirieron también una expansión de su cableado, compuesto de igual manera por tres cables de alimentación, neutro y señal, para poder ser conectados a las entradas del módulo contenedor del controlador LOGO y su expansor. Terminales tipo lagarto son necesarios para que la conexión a la alimentación de estos sensores mediante los conectores tipo banana pueda darse sin problemas. Ya que la conexión para estos sensores es directamente al módulo, pasar por canaletas los cables fue necesario para dejar todo mucho más organizado (Véase la Figura 101).



*Figura 101. Cableado para sensores capacitivos*

### **Conexión y encaje de elementos de neumática y electroneumática en estructura del módulo didáctico**

Los elementos de neumática y electroneumática usados para el trabajo de titulación son colocados en la plancha metálica propia del módulo didáctico de neumática. Una vez dispuestos todos los elementos, se procede a realizar las conexiones requeridas, tanto para los actuadores principalmente, como para los sensores que van en el módulo contenedor del controlador LOGO. Las conexiones con los cables azules y rojos se dan en la fuente de alimentación para bastidor de montaje de 24VDC, el módulo para entradas de señales eléctricas y el módulo de relé triple (Véase la Figura 102).



*Figura 102. Conexión de elementos de neumática y electropneumática en la estructura del módulo didáctico*

### **3.2.7 Montaje de las etapas que componen a la planta**

La planta como prototipo de una línea de producción para botellas de agua se halla compuesta de diferentes etapas por las cuales se debe de pasar para poder considerar que el producto se encuentra apto para su distribución y consumo. El proceso de llenado de botellas es meticuloso en su desenvolvimiento para garantizar una óptima calidad de producción, desde su materia prima hasta el producto final que llega a los consumidores, se deben de cumplir distintas normas y estándares de aplicados al producto final a entregar.

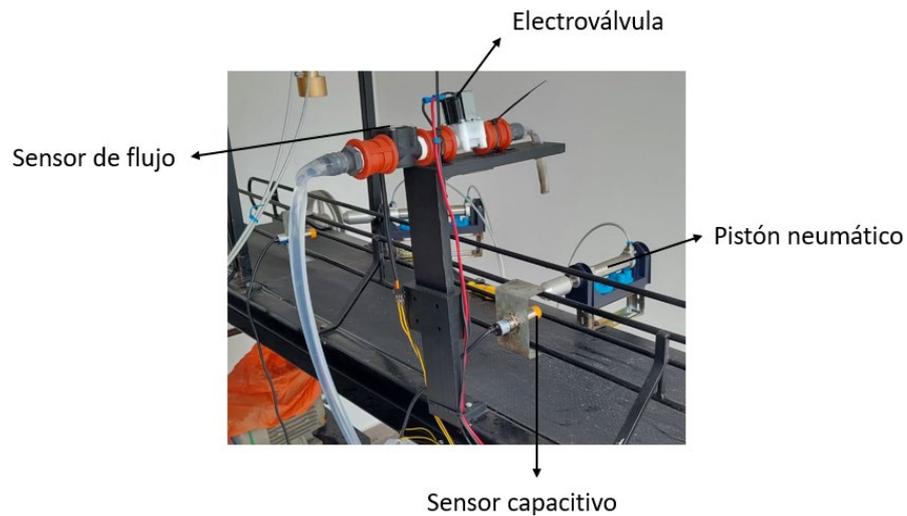
El proceso comienza con la materia prima que es el agua cruda, después se somete a un proceso de filtración, desinfección y purificación para que cumpla con las diversas normas impuestas por las autoridades pertinentes para el consumo de la misma, después se la almacena para conservar su pureza y su calidad.

A continuación, pasa a la línea de producción donde por medio de una banda son transportadas las botellas para la fase de llenado, taponado e inspección de la mismas hasta su almacenamiento.

#### **3.2.7.1 Etapa del proceso de llenado de botellas**

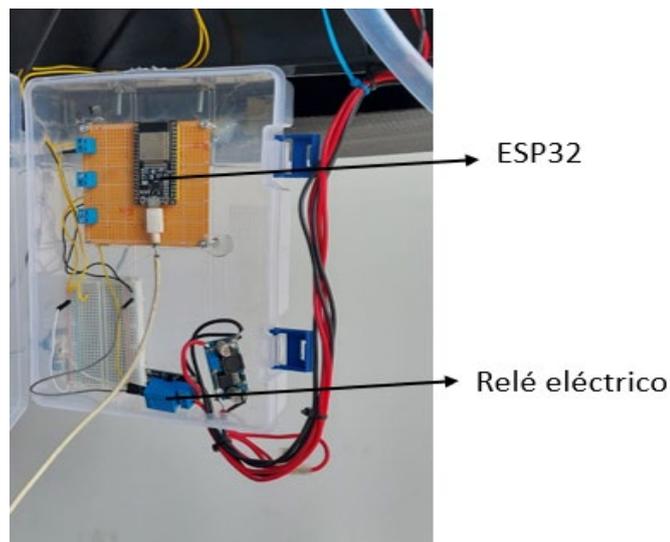
En la fase de llenado se han implementado distintos equipos como pistones, electroválvula, bomba, sensor de proximidad capacitivo y un sensor de flujo. Cuando el sensor capacitivo detecte la botella se va activar el pistón y va a detener la botella en cierta posición para que comience el llenado.

A continuación, se van activar la bomba y la electroválvula al mismo tiempo para que permita la circulación del agua hacia la botella. Mediante el sensor de flujo se va a poder controlar la cantidad de agua que se requiere para las botellas, a continuación, entran en acción los sensores y actuadores colocados en la planta (Véase la Figura 103).



**Figura 103.** Componentes de la etapa de llenado de botellas montados en la estructura impresa en 3D acoplada a cuerpo de la banda

También hay que destacar que se cuenta con un microcontrolador el cual es el encargado de controlar todo el sistema de llenado (Véase la Figura 104).

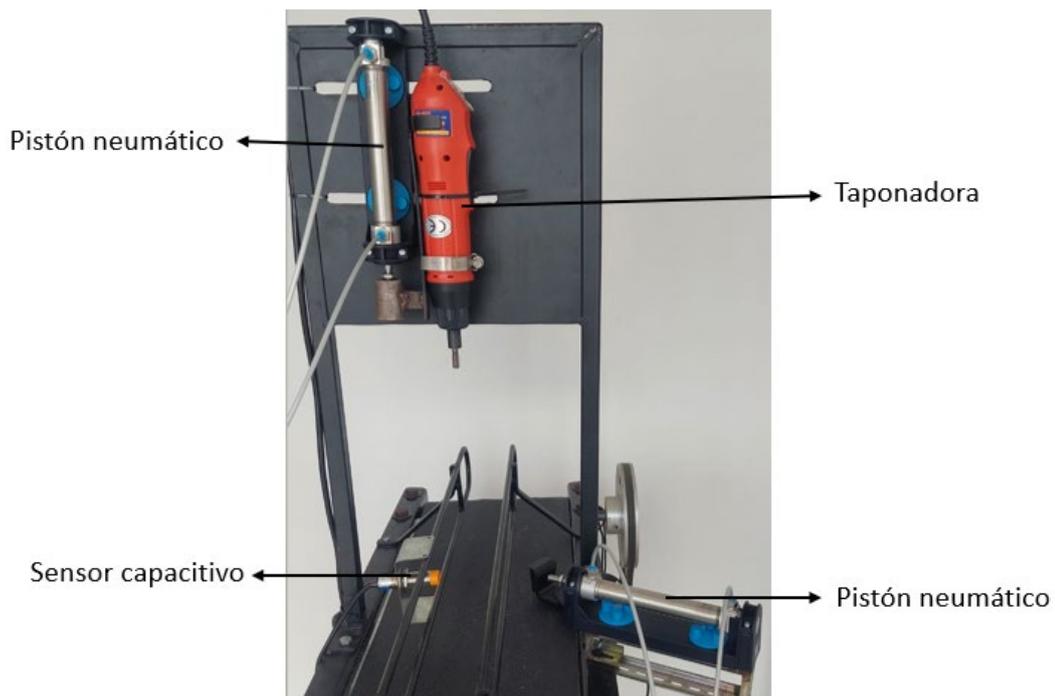


**Figura 104.** Microcontrolador ESP32 responsable de controlar el llenado ubicado en recipiente contenedor junto con el resto de conexiones y elementos del circuito

### 3.2.7.2 Etapa del proceso de sellado de botellas

A continuación de la etapa de llenado le sigue la etapa del taponado, la cual consiste en colocar tapas herméticas para que asegure su óptima calidad del producto, lo cual se realiza mediante una maquina taponadora en la cual se puede ajustar el torque de la misma para el correcto taponado de las botellas, esta fase consta también del uso de pistones neumáticos y sensor capacitivo.

El sensor capacitivo detecta la presencia de la botella, cuando esto sucede los pistones se activan, un pistón detiene la botella en una posición predeterminada y el otro pistón cuenta con una estructura mecánica que permite a la máquina taponadora bajar y taponar la botella, cuando se taponar la botella los pistones regresan a su posición original. A continuación, se presentan los sensores y actuadores de la fase de sellado (Véase la Figura 105).

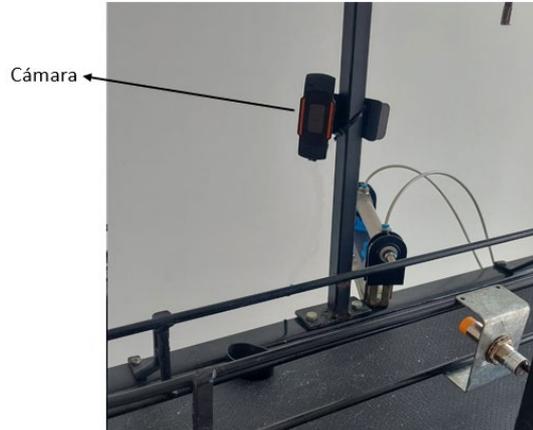


*Figura 105. Componentes de la etapa de sellado dispuestos en el cuerpo y estructura de la banda transportadora para desempeño de sus funciones*

### 3.2.7.3 Etapa de inspección de presencia/ausencia de tapas

Posterior a la fase de taponado, se culmina con una fase de inspección la cual consiste en inspeccionar las tapas de las botellas mediante visión por computadora usando el lenguaje de programación de Python junto con Haar Cascade, los cuales

en conjunto permiten la detección y clasificación del objeto entre si está o no presente, lo que deriva en que la inspección de presencia/ausencia de tapas en las botellas se realice óptimamente (Véase la Figura 106).



*Figura 106. Componente principal de la etapa de inspección de presencia/ausencia de tapas mediante visión por máquina ya posicionado adecuadamente en estructura de la banda*

### 3.2.8 Configuración de IP para equipo de automatización

#### **Pasos a seguir para acceder a la configuración y proceder con la asignación de la dirección IP para el controlador LOGO**

Para poder darle uso al controlador LOGO es fundamental proceder con la asignación de una dirección IP previamente (Véase la Figura 107). Tal asignación se realiza siguiendo la siguiente sucesión de pasos detallados:

1. Energizar el controlador LOGO desde las entradas de alimentación del módulo didáctico.
2. Navegar entre las opciones de configuración, buscar y presionar OK para acceder al apartado **Red**.
3. Dentro del apartado red navegar hasta encontrar el subapartado **Dirección IP**.
4. Se procede a asignar a gusto **dirección IP, mascara de subred y pasarela** del controlador LOGO.
5. Aplastar botón **ESC** continuamente hasta regresar a la pantalla principal.



*Figura 107. Asignación de dirección IP a controlador LOGO*

### **3.2.9 Programación de los equipos de control y automatización del sistema**

#### **3.2.9.1 Programación para controlador LOGO en software Logo! Soft Comfort**

Para poder automatizar secciones de la planta se requiere de la programación del controlador en uso, en este caso el LOGO V8.3, lo cual se realiza a través del software del propio fabricante: Logo! Soft Comfort. En la programación se establecen las restricciones y acciones a realizar por los sensores y actuadores del sistema a través de contactos NA o NC, bloques de temporización para imponer los tiempos en los que se desea que un determinado sensor o actuador desempeñe la función que le corresponde y salidas a modo de bobinas, todo esto con el tradicional lenguaje de programación en escalera o Ladder. Para este caso en particular, por ejemplo, se programaron los sensores de proximidad capacitivos que son NC para que puedan operar siendo controlados mediante las entradas propias del controlador (Véase la Figura 108).

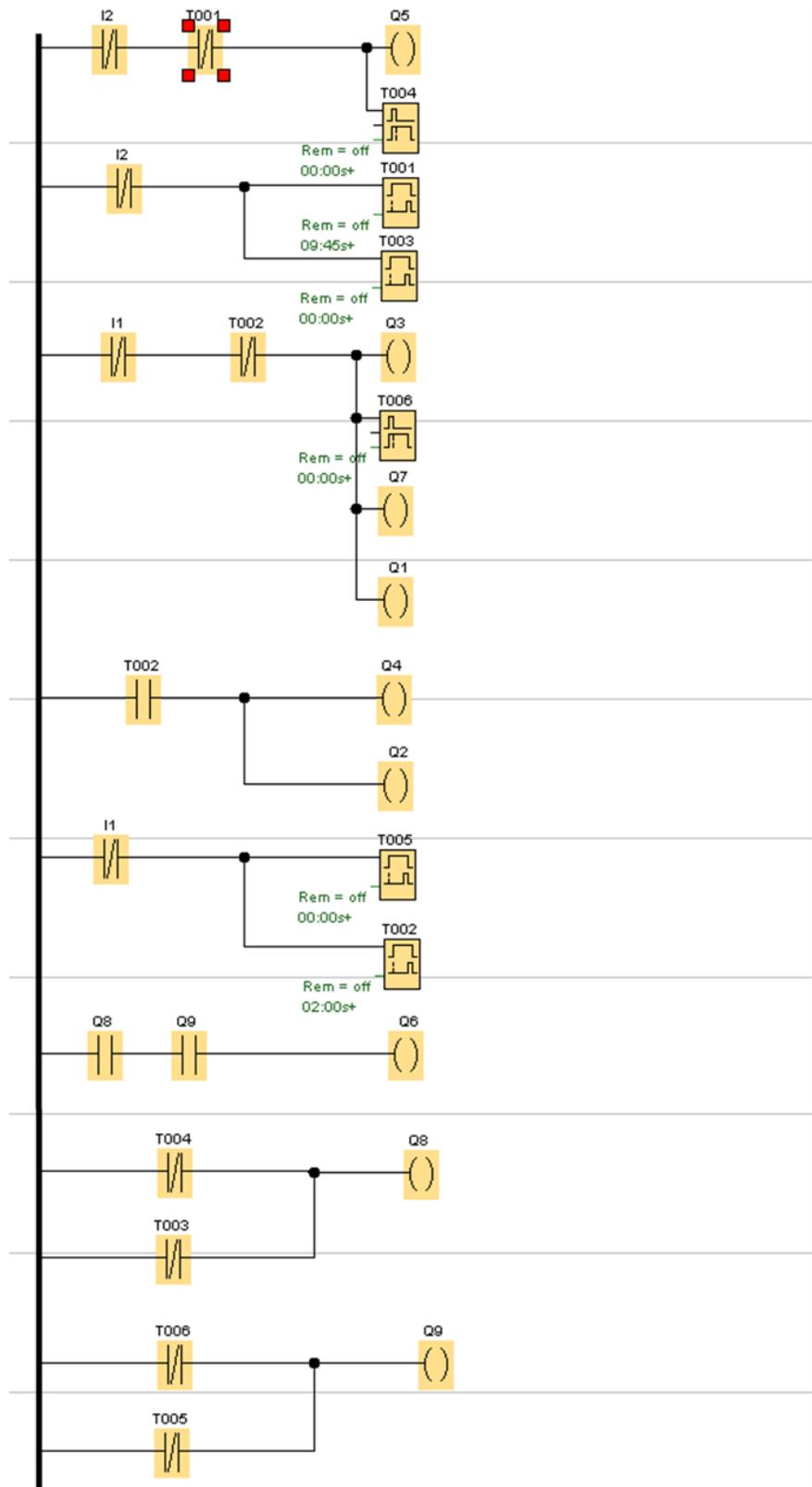


Figura 108. Programación Ladder elaborada para controlador LOGO

### 3.2.9.2 Programación para el microcontrolador ESP32 en Arduino IDE encargado del proceso de llenado

Para el caso del microcontrolador ESP32, la programación de este dispositivo se realiza a través de una plataforma de codificación muy usada para placas Arduino como lo es el IDE de Arduino, pero no de uso muy común para programar este tipo de microcontrolador. Los elementos que están involucrados en el proceso a controlar, es decir el de llenado, son la electroválvula de fluidos, el flujómetro y el sensor capacitivo.

A través de sentencias y restricciones, la programación para estos elementos se va estructurando poco a poco, de modo que variables importantes para este proceso como lo son el volumen objetivo para el recipiente a llenar o el factor de calibración para el flujómetro se deben tener en consideración a la hora de asignarles valores deseados y que van acorde a los lineamientos de diseño.

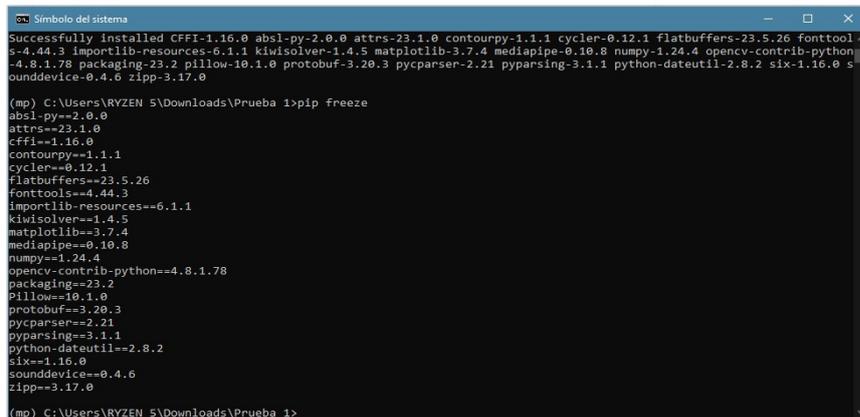
Las acciones a realizar para cada elemento del proceso también son importantes declararlas, de modo que así se consigue un óptimo control sobre estas. Dado que se está trabajando con el microcontrolador ESP32, al conectar el dispositivo para proceder a cargar la programación a este, se debe seleccionar el “ESP32 Dev Module” como el dispositivo de carga, así como procurar agregar a la programación la librería Arduino.h (Véase la Figura 109).

```
1 #include <Arduino.h>
2 // Incluye la biblioteca de Arduino, que proporciona definiciones y funciones básicas.
3
4 const int sensorCapacitivoPin = 17;
5 const int sensorFlujoPin = 12;
6 const int valvulaPin = 19;
7 // Definición de pines conectados al sensor capacitivo, sensor de flujo y la válvula.
8
9 const float volumenObjetivo = 1070.00;
10 const float factorCalibracion = 7.24;
11 // Constantes para el volumen objetivo en mililitros y el factor de calibración del sensor de flujo.
12
13 volatile unsigned int pulsos = 0;
14 unsigned long tiempoInicio;
15 bool recipienteDetectado = false;
16 bool iniciador = true;
17 bool cerrada = true;
18 // Declaración de variables, incluyendo el contador de pulsos, una marca de tiempo y banderos booleanos.
19
20 void setup() {
21   Serial.begin(115200);
22   // Inicia la comunicación serial a 115200 bps.
23
24   pinMode(sensorCapacitivoPin, INPUT);
25   pinMode(sensorFlujoPin, INPUT);
26   pinMode(valvulaPin, OUTPUT);
27   // Configura pines como entrada o salida.
28
29   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorFlujoPin), contarPulsos, FALLING);
30   // Adjunta una interrupción al pin del sensor de flujo para contar pulsos.
31
32   digitalWrite(valvulaPin, LOW);
33   // Inicializa la válvula en posición cerrada.
34 }
35
36 void loop() {
37   while (digitalRead(sensorCapacitivoPin) == HIGH && cerrada == true) {
38     abrirValvula();
39     // Abre la válvula para iniciar el llenado.
40
41     if (pulsos * factorCalibracion >= volumenObjetivo) {
42       cerrarValvula();
43       // Cierra la válvula cuando se alcanza el volumen objetivo.
44       recipienteDetectado = false;
45       cerrada = false;
46       pulsos = 0;
47       // Reinicia variables para la próxima vez.
48     }
49     Serial.println("fuera while");
50     // Imprime en el puerto serial la cadena "fuera while".
51
52     if (digitalRead(sensorCapacitivoPin) == LOW && cerrada == false) {
53       cerrada = true;
54       pulsos = 0;
55     }
56     // Restablece variables para permitir un nuevo llenado.
57   }
58
59   void contarPulsos() {
60     pulsos++;
61     // Incrementa el contador de pulsos cuando se produce una interrupción en el pin del sensor de flujo.
62   }
63
64   void abrirValvula() {
65     digitalWrite(valvulaPin, HIGH);
66   }
67
68   // Activa la válvula.
69 }
70 void cerrarValvula() {
71   digitalWrite(valvulaPin, LOW);
72   // Desactiva la válvula.
73 }
74 }
```

Figura 109. Programación elaborada para controlar el proceso de llenado

### 3.2.9.3 Programación del algoritmo utilizado para la visión por máquina encargada de la detección de presencia/ausencia de tapas en las botellas

Para poder darle forma al algoritmo que se va a encargar de la detección de presencia/ausencia de tapas en las botellas se ha utilizado los entornos integrados de desarrollo (IDE) Pycharm y Visual Studio Code. Inicialmente a través de ellos se crea un entorno virtual para almacenar las librerías necesarias para la codificación, se selecciona el intérprete de lenguaje que en este caso es Python en su versión 3.8 y posteriormente se procede a instalar mediante la terminal de los entornos las librerías requeridas que en este caso son principalmente OpenCV, Imutils y Mediapipe. Cabe destacar que el proceso de instalación de las librerías también puede ser realizado a través del símbolo del sistema (Véase la Figura 110).



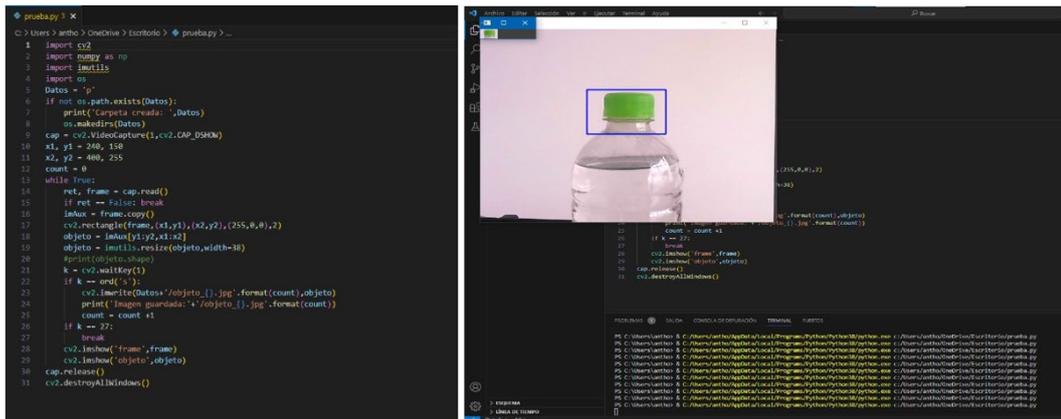
```
Símbolo del sistema
Successfully installed CFFI-1.16.0 absl-py-2.0.0 attrs-23.1.0 contourpy-1.1.1 cycler-0.12.1 flatbuffers-23.5.26 fonttool-4.44.3
importlib-resources-6.1.1 kiwisolver-1.4.5 matplotlib-3.7.4 mediapipe-0.10.8 numpy-1.24.4 opencv-contrib-python-4.8.1.78
packaging-23.2 pillow-10.1.0 protobuf-3.20.3 pycparser-2.21 pyparsing-3.1.1 python-dateutil-2.8.2 six-1.16.0 sounddevice-0.4.6
zipp-3.17.0

(mp) C:\Users\RYZEN 5\Downloads\Prueba 1>pip freeze
absl-py==2.0.0
attrs==23.1.0
CFFI==1.16.0
contourpy==1.1.1
cycler==0.12.1
flatbuffers==23.5.26
fonttools==4.44.3
importlib-resources==6.1.1
kiwisolver==1.4.5
matplotlib==3.7.4
mediapipe==0.10.8
numpy==1.24.4
opencv-contrib-python==4.8.1.78
packaging==23.2
pillow==10.1.0
protobuf==3.20.3
pycparser==2.21
pyparsing==3.1.1
python-dateutil==2.8.2
six==1.16.0
sounddevice==0.4.6
zipp==3.17.0

(mp) C:\Users\RYZEN 5\Downloads\Prueba 1>
```

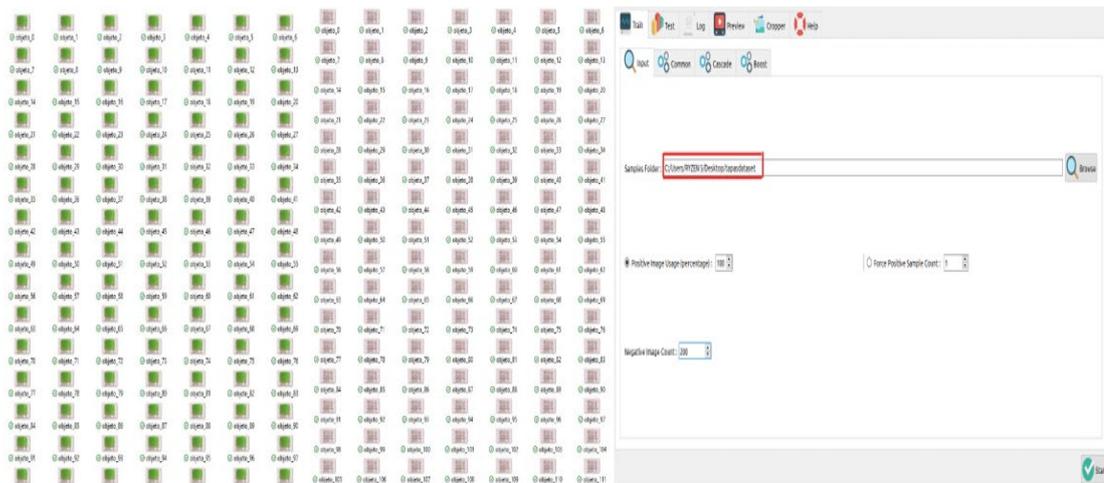
*Figura 110. Instalación de librerías requeridas a través del símbolo del sistema*

Una vez la instalación de las librerías necesarias se haya concretado, se procede a estructurar la primera parte del código en Visual Studio Code, el cual se va a usar para proceder a encuadrar en un primer plano el objeto a detectar, en este caso la tapa. Este algoritmo despliega una ventana en donde se halla el objeto que se desea detectar encerrado en un rectángulo que lo enmarca a este y mediante la pulsación de la tecla “s” se puede proceder a sacar un determinado volumen deseado de imágenes o muestras del objeto que se halle en el rectángulo, proceso el cual se realiza de igual manera para cuando se desea captar muestras de ausencia de este objeto enmarcado (Véase la Figura 111).



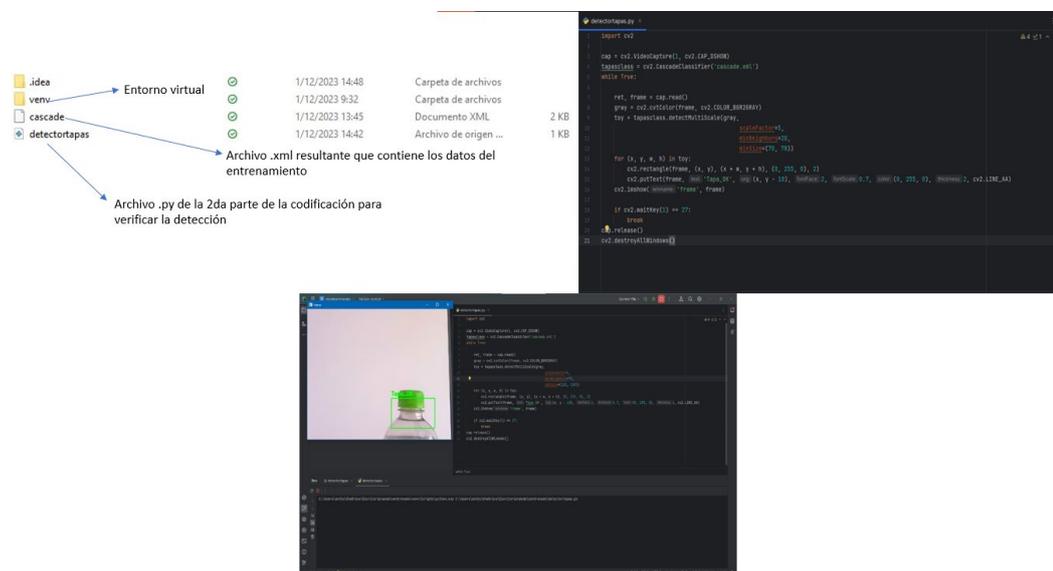
*Figura 111. Extracción de imágenes o muestras a través de la primera parte del algoritmo. imágenes positivas (p) con tapa e imágenes negativas (n) sin tapa*

Las imágenes o muestras que se hayan extraído mediante el procedimiento anterior se deben de almacenar en las carpetas “p” o “n” dependiendo del caso, que están en la carpeta raíz del proyecto. Una vez se verifique que dichas imágenes extraídas se encuentran correctamente almacenadas se procede a acceder a la interfaz gráfica de usuario de Haar Cascade en donde se va a especificar la ruta de la carpeta raíz en donde se hallan las muestras positivas y negativas sacadas, se especifica porcentaje de imágenes positivas con las que se desea trabajar, se especifica cantidad de imágenes negativas con las que se va a trabajar, se coloca las dimensiones de ancho y alto de las imágenes sacadas y se da click en “Start” para proceder con el entrenamiento del modelo (Véase la Figura 112).



*Figura 112. Procedimiento a seguir para dar lugar al entrenamiento del modelo con las muestras extraídas*

Una vez la interfaz gráfica de Haar cascade haya concluido con el entrenamiento del modelo, en la carpeta raíz se van a almacenar automáticamente nuevos archivos resultantes del entrenamiento de los cuales el más importante es el archivo cascade.xml, el cual se debe de extraer de la carpeta de donde se halla y sacarlo a la carpeta raíz. A continuación se procede a escribir la segunda parte de la codificación en el entorno Pycharm, la cual se encarga de hacer un llamado para el archivo cascade.xml resultante del entrenamiento y que se va a usar para la detección la cual al conectarse la webcam ubicada en la planta se va a desplegar enseguida una ventana en la cual se muestra en tiempo real la detección gracias al uso que hace el algoritmo del archivo del entrenamiento para proceder con el proceso de inspección de presencia o ausencia de tapas (Véase la Figura 113).



*Figura 113. Verificación de funcionamiento de la segunda parte del código para evaluar precisión del modelo entrenado*

### 3.3 Pruebas y resultados

#### 3.3.1 Apartado de pruebas realizadas

A continuación, se presentan las respectivas pruebas realizadas en la planta y a sus tapas para verificar su correcto funcionamiento.

##### 3.3.1.1 Prueba de movimiento mecánico de la planta

Se realizaron pruebas mecánicas en la planta para determinar posibles defectos en el funcionamiento de ciertos componentes de la planta, de modo que así se los pueda corregir oportunamente para garantizar el correcto funcionamiento de la planta (Véase la Figura 114).



*Figura 114. Realización de pruebas de movimientos mecánicos efectuados por máquina selladora en la planta*

### **3.3.1.2 Prueba de los pistones neumáticos**

Se procede a calibrar los pistones neumáticos, especialmente el pistón de doble efecto en el que se encuentra acoplado la máquina selladora, para que no baje muy rápido y pueda deformar la botella o provocar una obstrucción en la línea de producción. (Véase la Figura 115).



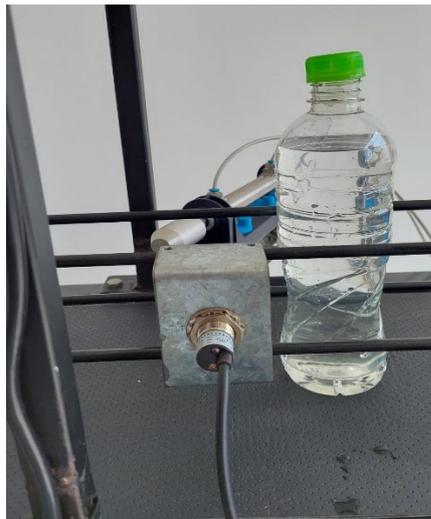
*Figura 115. Vástago de pistón neumático expulsado. En funcionamiento adecuado*

### **3.3.1.3 Calibración de los sensores de proximidad capacitivos**

En la calibración de los sensores capacitivos se debe de tomar en cuenta la sensibilidad y la distancia para que estos efectúen sin novedades la acción de

detectar, ya que en las pruebas realizadas en la planta se presentaron algunos problemas de funcionamiento en la misma debido a que los sensores se encontraban mal calibrados. El sensor que se encuentra en la etapa de llenado no detectaba algunas botellas puesto que a lo que ingresan las botellas a la etapa de llenado, las botellas inicialmente vienen vacías y el sensor no era capaz de detectar las botellas, por lo que se le aumento la sensibilidad.

Mientras, por otra parte, el sensor que se encuentra ubicado en la etapa del taponado, cuando las botellas están muy juntas el sensor no logra distinguir las dos diferentes botellas si no que las detecta como una sola y debido a este problema surgido, pocas han sido las veces en las pruebas se le tuvo que ajustar la sensibilidad al sensor ya que con esto último se ha solucionado dicho inconveniente (Véase la Figura 116).



*Figura 116. Pruebas de detección de los sensores de proximidad usando botellas llenadas y con la banda puesta en marcha*

#### **3.3.1.4 Prueba de la bomba y electroválvula**

En la prueba de la bomba y electroválvula surgió un inconveniente en la etapa de llenado específicamente dado que la primera botella colocada al llenarse por primera vez, queda un remanente de aire dentro de las tuberías y esto provoca un mal censo del sensor de flujo y esto a su vez provoca que la botella no se llene con la cantidad adecuada de líquido.

### 3.3.1.5 Pruebas de calibración/ajuste de parámetros del variador de frecuencia

En el ajuste de parámetros del variador de frecuencia se realizaron pruebas con varias velocidades para determinar cuál era la más indicada y también la calibración de la rampa de aceleración y desaceleración debido a que cuando arrancaba la banda las botellas que se encontraban vacías tenían a caerse y provocar taponamientos (Véase la Figura 117).



*Figura 117. Pruebas de ajustes en parámetros requeridos para un correcto arranque de motor y puesta en marcha de la banda*

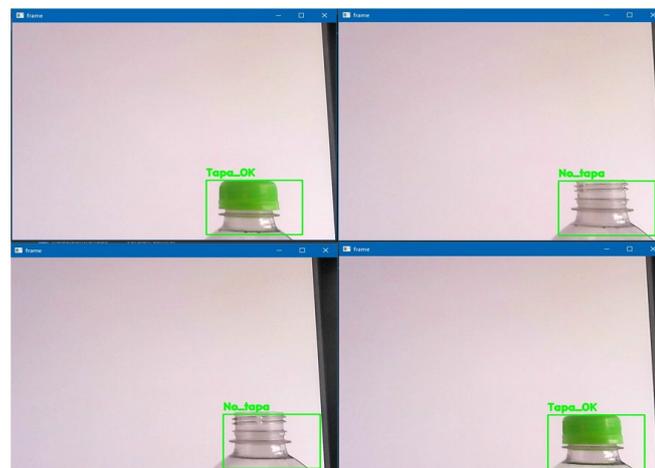
### 3.3.1.6 Pruebas de evaluación de eficiencia para el algoritmo codificado para la etapa de inspección de presencia/ausencia de tapas en botellas

En la prueba inicial para evaluar la precisión y eficiencia en la detección del objeto deseado, se hizo uso de un dataset que contenía 400 muestras, 200 positivas y 200 negativas seccionadas en botellas con tapas colocadas y botellas sin tapas. El modelo se entrena con este dataset y se obtiene el archivo resultante del entrenamiento del modelo el cual al ponerlo a prueba muestra no ser muy preciso al detectar la presencia de tapas (Véase la Figura 118).



**Figura 118.** Testeo de precisión en la detección de tapas colocadas en botellas con modelo que ha sido entrenado con 400 muestras. Primer testeo: No es muy preciso

Dado lo que se ha podido obtener en el primer testeo, se ha optado por aumentar la cantidad de muestras usadas para construir el dataset que a posterior se usa también para entrenar el modelo. En este segundo testeo, la cantidad de imágenes usadas ha sido de 600, 300 para imágenes positivas es decir botellas con tapas y 300 para imágenes negativas o sin tapas. El modelo se procede a entrenar y se obtiene el archivo que contiene datos del entrenamiento, se pasa a probarlo y se puede evidenciar una mejora sutil en cuanto a la detección del objeto deseado, lo cual constituye un mejor desempeño en general del modelo entrenado en esta ocasión (Véase la Figura 119).



**Figura 119.** Testeo de precisión en la detección de tapas colocadas en botellas con modelo que ha sido entrenado con 600 muestras. Segundo testeo: Aumento notable de precisión

### 3.3.2 Apartado de resultados obtenidos tras pruebas en planta operativa

Inmediatamente se presentan los resultados de las pruebas realizadas en las distintas etapas de la planta.

#### 3.3.2.1 Resultado tras la prueba de repetibilidad

Los datos obtenidos en las distintas pruebas corresponden a los ml de cada botella que paso por la etapa de llenado (Véase la Tabla 26).

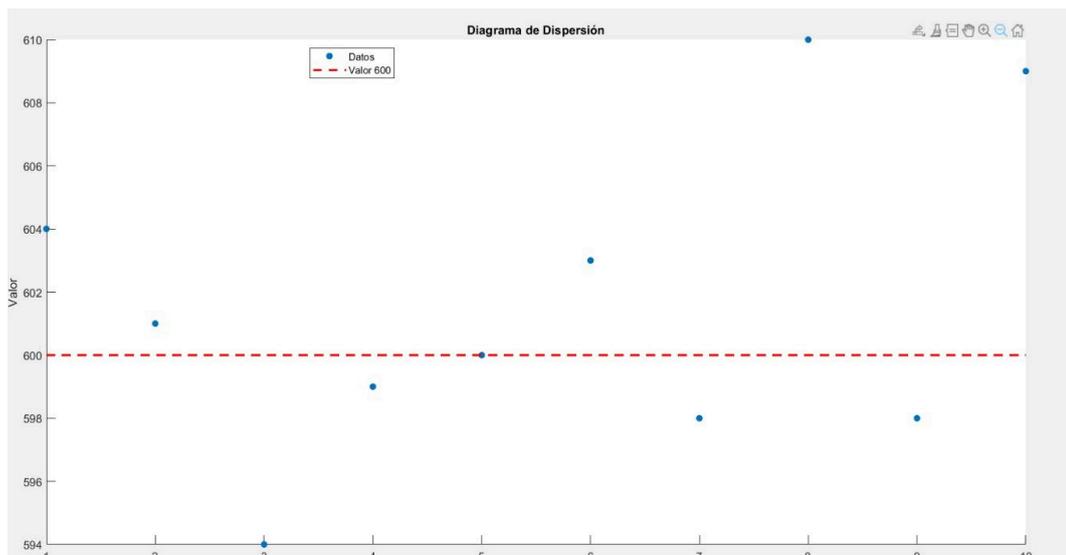
*Tabla 26. Tabla de resultados recopilados tras pruebas de llenado para determinar cantidades (ml) en cada iteración*

Nº de prueba	Líquido (ml)
1	604
2	601
3	594
4	599
5	600
6	603
7	598
8	610
9	598
10	609
<b>Promedio</b>	601.60
<b>Varianza</b>	25.16
<b>Desviación estándar</b>	5.02

De acuerdo con los resultados obtenidos que se ven reflejados en los datos anteriores y tomando como referencia el promedio, se tiene que:

$$\text{llenado prom} = 600 \pm 1.6 \text{ ml}$$

A continuación, se presenta el gráfico de dispersión correspondiente a los datos resultantes recopilados (Véase la Figura 120).



**Figura 120.** Gráfico de dispersión resultante construido a partir de los datos que se extrajeron al sacar los resultados de eficiencia en el llenado

### 3.3.2.2 Resultados de la planta

A continuación, se presentan los datos recabados de la planta en funcionamiento, correspondientes a cuantas botellas se llenan en ciertos periodos de tiempo (Véase Tabla 27).

**Tabla 27.** Tabla de resultados relacionada a la eficiencia de producción que genera la planta en funcionamiento

Tiempo	Botellas
10 min	44.00
30 min	132.00
1 h	264.00
8 h	2112.00
12 h	3168.00
24 h	6336.00
1 semana	44352.00
1 mes	177408.00
1 año	2128896.00

Como se puede apreciar en la tabla anexada, tal es la cantidad de eficiencia en materia de producción con la que se cuenta, esto en distintos periodos de tiempo en los que la producción se considera ininterrumpida.

### 3.3.2.3 Resultados arrojados tras evaluar algoritmo de visión por máquina.

Para el cálculo de precisión en la detección de tapas por medio de la visión por máquina se ha realizado con la siguiente fórmula donde TP son los positivos reales en la detección de tapas, mientras que FP son los falsos positivos que se producen al ejecutarse el algoritmo.

$$precisión = \frac{Tp}{Tp + Fp} \dots (Ec. 6)$$

Para los resultados de precisión se han construido varios dataset de distintas cantidades, conformados por imágenes positivas e imágenes negativas para calcular la precisión del algoritmo de visión.

En la Tabla 28 adjunta se presenta la cantidad de muestras que se han ocupado en un primer testeo en el cual la prueba se ha realizado con un número modesto de muestras o imágenes.

*Tabla 28. Cantidades de muestras o imágenes que componen al dataset del primer testeo*

Dataset	Cantidad
Imágenes positivas	200
Imágenes negativas	200

Posterior al entrenamiento del modelo con el dataset generado, en la Tabla 29 se presenta el porcentaje de precisión en la toma de detección tanto para el caso de las botellas con tapas como para las botellas sin tapas.

*Tabla 29. Porcentajes de precisión al evaluar el modelo entrenado en ambas situaciones: con tapas y sin tapas. Resultados de testeo 1*

Medición	Porcentaje de eficiencia en la detección con tapas	Porcentaje de eficiencia en la detección sin tapas
Precisión	48 %	45%

A continuación, En la Tabla 30 adjunta se presenta en cambio la cantidad de muestras que se han ocupado en un segundo testeo en el cual la prueba se ha realizado con un número mayor de imágenes para mejorar la eficiencia en la detección.

*Tabla 30. Cantidades de muestras o imágenes que componen al dataset del segundo testeo*

<b>Dataset</b>	<b>Cantidad</b>
Imágenes positivas	600
Imágenes negativas	600

Posterior al entrenamiento del modelo con este otro conjunto de muestras generado, en la Tabla 31 se presenta el porcentaje de precisión en la toma de detección tanto para el caso de las botellas con tapas como para las botellas sin tapas.

*Tabla 31. Porcentajes de precisión al evaluar el modelo entrenado en ambas situaciones: con tapas y sin tapas. Resultados de testeo 2*

<b>Medición</b>	Porcentaje de eficiencia en la detección con tapas	Porcentaje de eficiencia en la detección sin tapas
<b>Precisión</b>	90 %	87%

## **CAPITULO IV**

### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 Conclusiones**

- Se concluye que tras una evaluación de distintos dispositivos robustos industriales se han seleccionado los dispositivos más acordes a las necesidades requeridas en el presente trabajo de titulación, como lo son el LOGO V8.3 y el módulo expensor puesto que con los dos se cuenta con 8 salidas para el control de los distintos equipos presentes en la planta. Se seleccionaron sensores infrarrojos los cuales al momento de detectar presencia funcionan eficientemente para detectar materiales como metal, vidrio o plástico, que en el caso de la planta elaborada se ha venido trabajando con botellas de plástico y con respecto a la labor de seleccionar

el variador de frecuencia se han tomado en cuenta las especificaciones técnicas del motor mientras que para la bomba y el microcontrolador ESP-32 se tomó en cuenta las limitaciones físicas del Logo.

- En lo relativo al diseño, desarrollo y ejecución del prototipo de la planta para el llenado y taponado de botellas, se puede concluir que, mediante el uso de tecnología puntera, tales como estructuras impresas en 3D para el sistema de llenado y robustas estructuras metálicas para el taponado, se ha logrado una integración eficiente de componentes clave como el sensor de flujo, la electroválvula y el sistema de mangueras, así como la máquina taponadora eléctrica manual. Esta implementación ha resultado en una producción notable de 264 botellas por hora. Estos resultados no solo validan la viabilidad técnica del concepto, sino que también dan realce al potencial para la optimización y aplicación futura en entornos industriales, destacando la efectividad y eficiencia de este enfoque automatizado en la industria del envasado amateur.
- Se concluye que, tras haber implementado normativas y estándares cruciales en el ámbito de la neumática y electroneumática, como la ISO 648 y la ISO 10079, que se enfocan en regular la distribución del aire comprimido y promover el uso seguro y eficiente de equipos neumáticos, asimismo, como la aplicación de normativas relevantes para equipos de control y automatización, tales como la IEC 61131 y la ISO 13849, las cuales establecen procedimientos indispensables para salvaguardar la integridad de estos equipos y garantizar su correcto funcionamiento, la productividad y seguridad en la planta se hallan totalmente cubiertas y respaldadas gracias al uso y seguimiento de estos lineamientos estandarizados.
- Con respecto a la parte de automatismos implementados en la planta se puede concluir que, se ha conseguido desarrollar con eficacia la automatización del proceso de llenado y taponado de botellas utilizando un lenguaje KOP (Ladder) mediante el cual se ha asignado al controlador principal, es decir el LOGO V8.3, la tarea de gobernar el sistema automatizado, de igual manera se aplicaron configuraciones, conexiones y programaciones para el caso del variador de frecuencia, motor, bomba y

electroválvula, junto al uso de las señales de entrada de los sensores infrarrojos, mejorando de esta manera los tiempos de producción y minimizando al máximo posibles errores.

- Concluyentemente también se puede señalar que se han configurado los distintos sensores ya sean los infrarrojos o capacitivo, teniendo en cuenta los criterios más destacables como lo son el entorno de operación, materiales y geometría del objeto a detectar, distancia de detección y calibración de sensibilidad, para el variador de frecuencia se ha considerado la configuración inicial, parámetros de control, límites de corriente y tensión, frecuencia de salida y modos de operación y para el caso de los pistones neumáticos en cambio se ha tenido en consideración la presión del aire suministrado, velocidad de desplazamiento y posicionamiento, logrando así el óptimo funcionamiento de la planta en sus distintas etapas, lo cual incluye la operación sin novedades de los sensores y actuadores por supuesto.
- En lo que respecta al desarrollo del algoritmo de visión por máquina que realiza la inspección de presencia/ausencia de tapas en las botellas, se concluye que para conseguir tal finalidad es de vital importancia seleccionar el método más adecuado y que se ajuste a los requerimientos, en el caso particular de este trabajo de titulación se ha optado por el uso del método de entrenamiento de una red neuronal por medio de la GUI de Haar Cascade para la implementación y desarrollo de una aplicación de este tipo en una planta de las características como la que se ha implementado, lo cual se ve reflejado en el funcionamiento tanto del algoritmo como por consiguiente del método en cuestión.
- Al evaluar el funcionamiento del algoritmo de visión por máquina desarrollado se ha podido concluir que, aunque se presente cierto grado de inestabilidad en la detección, sobre todo mientras la línea de producción se encuentra en constante movimiento, ya que si tal acción se produce en las condiciones precisas, se obtienen resultados satisfactorios en la detección del objeto que se desea captar.

## 4.2 Recomendaciones

- A la hora de la comparación y de la selección de dispositivos robustos se cuenta con un ESP32 el cual no es un dispositivo robusto, pero cumple con su función la cual es el control del llenado de botellas, pero si se cuenta con un buen presupuesto se recomienda optar por dispositivos robustos para tal proceso.
- En la parte de diseño se recomienda manejar herramientas de diseño en 3D para una mejor perspectiva de la planta y detectar posibles fallos.
- Se insta a que en trabajos de titulación relacionados que se planeen desarrollar a futuro se procure realizar un presupuesto mejor pensado, el cual se adecue a las posibilidades económicas de los responsables del trabajo y que contribuya a que no se presenten limitantes de esta naturaleza en su desarrollo.
- En el sistema automatizado se pueden implementar mejoras a futuro colocando más electroválvulas para llenar más botellas al mismo tiempo y colocar una bomba con mayor capacidad, para así poder reducir el tiempo de llenado de botellas.
- A la hora de configurar los equipos y sensores se debe de tener mucho en cuenta la sensibilidad de los sensores capacitivos ya que no es la misma para el sensor que se encuentra en el llenado o para el sensor que se encuentra en el taponado ya que este sensor se debe bajar la sensibilidad debido a que la botella ya viene con agua la detecta más fácil.
- Para una aplicación de visión por máquina que se desee implementar en un trabajo a futuro se recomienda buscar alternativas que permitan accesibilidad y den lugar a resultados óptimos, confiables y precisos en lo que a detección respecta.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Ipanaqué. (2021, Mayo 10). Diseño de control de nivel de llenado de botellas de gaseosa utilizando visión artificial. [Online]. Available: <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3092>

[2] A. Aguilar. (2017, Julio 5). Automatización Del Sistema De Llenado De Bidones Plásticos Para El Control De Válvulas y De Faja Transportadora, Para La Mejora De Precisión De La Cantidad De Bebida Gasificada Utilizada En La Embotelladora Oriental S.A.C. [Online]. Available: <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/512>

[3] A. Toro, G. Sánchez, M. Strefezza, y E. Granado, “IIoT y sistemas de control: oportunidades, desafíos y arquitecturas”, Ciencia e Ingeniería, vol. 38, núm. 3, pp. 209–214, 2017. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507555085001>

[4] Parker Hannifin Corporation, Tecnología Neumática Industrial. Apostilla M1001 BR, 2003. Disponible en: [https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001\\_BR\\_Neumatica.pdf](https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001_BR_Neumatica.pdf).

[Consultado: 10-oct-2023].

[5] A. Serrano Nicolás, Neumática Práctica. La Villa y Corte de Madrid, España: Editorial Paraninfo, 2009. [Consultado: 10-oct-2023].

[6] C. Chiluisa. (2020, Febrero 12). Implementación de un sistema automatizado con control hmi-scada para el proceso de embotellado de líquidos. [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13936/1/108T0325.pdf>

[7] J. J. Rosales Torres y A. M. Velarde Sánchez, “Proyecto para la implementación y montaje de una línea automatizada de jugos y bebidas gasificadas para la Empresa Ramber E.I.R.L. en la región Arequipa 2021”, Universidad Continental, 2022. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13080>

[8] M. E. Carbonó de la Rosa y I. A. Aislant Antolinez, “Diseño y construcción de un sensor de flujo tipo turbina para flujo no uniforme”, Universidad Pontificia

Bolivariana, 2013. Disponible en:  
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1039>

[9] G. M. Guzmán Toro y S. A. Villavicencio Garzón, “Diseño y construcción de un panel didáctico multifuncional electro neumático utilizando elementos de última generación y desarrollo de una guía para prácticas de capacitación para la empresa Ecuainsetec”, QUITO/EPN/2010, 2010. Disponible en:  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2472>

[10] F. O. Palacios Macías, A. A. Ceballos Vargas, y A. C. J. director, “Diseño de un sistema de llenado automático de tolvas de alimentación AQ1 para camarón mediante el uso de microcontroladores con comunicación inalámbrica y energizado mediante un sistema fotovoltaico”, ESPOL. FIEC, 2022. Disponible en:  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57082>

[11] M. Matute y J. Diego, “Manual de procedimientos para el mantenimiento preventivo en el área de envasado de la compañía ‘La Toscana, Cosmica Cía. Ltda.’”, Universidad del Azuay, 2014. Disponible en:  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3647>

[12] M. Gutierrez y S. Iturralde, FNMT-RCM, “Fundamentos básicos de instrumentación y control”, Fnmt.es. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+básico+de+instrumentación+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671> [Consultado: 10-oct-2023].

[13] C. Ames Zegarra, “Normativa para el diseño de interfaces gráficas de sistemas de automatización industrial”, Universidad de Piura, 2016. Disponible en:  
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2423>

- [14] A. Tallón Areñse, “Adaptación de un laboratorio de calibración acreditado a la nueva norma ISO-17025:2017”, Industriales, 2021. Disponible en: <https://oa.upm.es/66847/>
- [15] A. Valenzuela Gregorio, “Implementación de interfaz de control de laboratorio de radiofrecuencia en Python”, 2020. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/106309>
- [16] E. Quezada. (2022, Marzo 8). Propuesta de automatización en el proceso de producción de alcohol antibacterial en la empresa Indualcohol. [Online]. Available: <http://201.159.223.180/handle/3317/18025>
- [17] G. Lozano. (2015, Septiembre 22). Diseño de un sistema de visión artificial para la revisión del nivel de llenado de bebidas embotelladas. [Online]. Available: <http://repositorio.uac.edu.co/handle/11619/1371>
- [18] T. E. Guimarães, “Aplicación de prácticas y métodos de enseñanza para el uso del software CADe-SIMU para la simulación por computadora de controles eléctricos.”, 2018. Disponible en: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/967>
- [19] H. S. Lainez Perero y W. G. Murillo Encarnación, “Análisis y diseño de un sistema de control de temperatura de agua caliente de tres intercambiadores de calor a vapor usando logo 8 y software logo soft comfort para un hotel en la ciudad de Guayaquil”, Espol, 2017. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/38511>
- [20] C. Peña, Arduino IDE: Domina la programación y controla la placa. RedUsers, 2020.
- [21] C. Roldán Blay, “Instalación y uso de librerías adicionales en Python”, p. 184146, 2022. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/184146>

[22] P. Desai, Python programming for arduino. Birmingham, Inglaterra: Packt Publishing, 2015.

[23] A. S. Sierra Saavedra y D. X. Sánchez Suárez, “Desarrollo de una máquina extrusora de plástico reciclado para la construcción de perfiles sintéticos”, 2023. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24992>

[24] T. Arellano y M. Antonio, “Programación de PLCs en FluidSIM”, 2014. Available: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/df2f66ff-05a4-4795-b7c6-3c9115b25d67>

[25] N. Sanchez, “APLICACIÓN DEL MÓDULO LÓGICO DE SIEMENS LOGO! SIPLUS COMO ALTERNATIVA DOMÓTICA EN CONDOMINIO ‘CASA AMANECER’”, Edu.mx. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.upsin.edu.mx/Fragmentos/tesinas/TESINASanchezNelly.pdf>. [Consultado: 22-oct-2023].

[26] L. M. Mosquera Meléndrez y C. D. Cevallos Rojas, “Diseño e implementación de un Prototipo Iot para el monitoreo de parámetros ambientales aplicados al cultivo de arroz utilizando ESP32 y Thingspeak”, 2022. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22884>

[27] A. L. Alarcón Ortiz, D. J. Barba Chérrez, E. H. Tibanta Narvaez, y W. F. Tenorio Cando, “Infraestructura de medición avanzada para monitoreo de consumo de agua potable basado en Internet de las Cosas”, Pentaciencias, vol. 5, núm. 4, pp. 414–425, 2023. Disponible en: <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/677>

[28] H. Naranjo y G. Rodolfo, “AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE POR CADENAS EN UNA LÍNEA EMBOTELLADORA DE

BEBIDAS”, Quito, 2019. Available:  
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/1929>

[29] J. BERTE-NARVAEZ, J. URUETA- SALTARIN, K. CASTILLA-MONTES, y A. RUIZ-GARIZADO, «6. SISTEMA DE LLENADO VOLUMÉTRICO AUTOMATIZADO PARA LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA», MODUM, vol. 2, pp. 89–99, ago. 2020. Available:  
[https://revistas.sena.edu.co/index.php/Re\\_Mo/article/view/3022](https://revistas.sena.edu.co/index.php/Re_Mo/article/view/3022)

## ANEXOS

### **Codificación elaborada para proceso de llenado mediante ESP32**

```
#include <Arduino.h>
```

```
// Incluye la biblioteca de Arduino, que proporciona definiciones y funciones básicas.
```

```
Const int sensorCapacitivoPin = 17;
```

```
const int sensorFlujoPin = 12;
```

```
const int valvulaPin = 19;
```

```
// Definición de pines conectados al sensor capacitivo, sensor de flujo y la válvula.
```

```
Const float volumenObjetivo = 1670.0;
```

```
const float factorCalibracion = 7.5;
```

```
// Constantes para el volumen objetivo en mililitros y el factor de calibración del sensor de flujo.
```

```
Volatile unsigned int pulsos = 0;
```

```
unsigned long tiempoInicio;
```

```
bool recipienteDetectado = false;
```

```

bool iniciador = true;
bool cwhile = true;
// Declaración de variables, incluyendo el contador de pulsos, una marca de
tiempo y banderas booleanas.

Void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // Inicia la comunicación serial a 115200 bps.

  pinMode(sensorCapacitivoPin, INPUT);
  pinMode(sensorFlujoPin, INPUT);
  pinMode(valvulaPin, OUTPUT);
  // Configura pines como entrada o salida.

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorFlujoPin), contarPulsos, FALLING);
  // Adjunta una interrupción al pin del sensor de flujo para contar pulsos.

  digitalWrite(valvulaPin, LOW);
  // Inicializa la válvula en posición cerrada.

}

void loop() {
  while (!digitalRead(sensorCapacitivoPin) == HIGH && cwhile == true ) {
    abrirValvula();
    // Abre la válvula para iniciar el llenado.

    If (pulsos * factorCalibracion >= volumenObjetivo) {
      cerrarValvula();
      // Cierra la válvula cuando se alcanza el volumen objetivo.
      recipienteDetectado = false;
      cwhile = false;
    }
  }
}

```

```

    pulsos = 0;
    // Reinicia variables para la próxima vez.
}
}
-
// Imprime en el puerto serial la cadena “fuera while”.

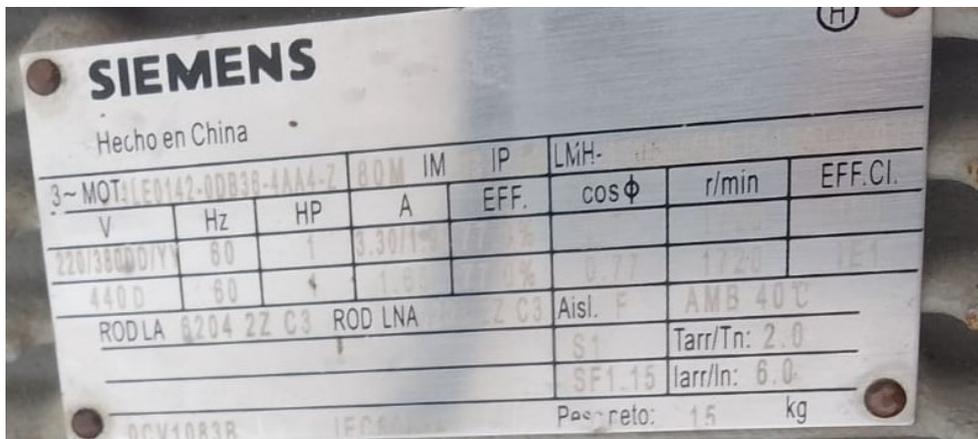
If (!digitalRead(sensorCapacitivoPin) == LOW && cwhile == false ) {
    cwhile = true;
    pulsos = 0;
}
// Restablece variables para permitir un nuevo llenado.
}

void contarPulsos() {
    pulsos++;
    // Incrementa el contador de pulsos cuando se produce una interrupción en el pin
del sensor de flujo.
}

void abrirValvula() {
    digitalWrite(valvulaPin, HIGH);
    // Activa la válvula.
}

void cerrarValvula() {
    digitalWrite(valvulaPin, LOW);
    // Desactiva la válvula.
}

```



*Anexo 1. Placa de datos técnicos del motor utilizado en la planta*

CANTIDADES	MATERIAL	PRECIO
1	RIEL 3" 3 METROS	\$10.00
1	TORNA 3/4" X 2 mm	\$11.00
2	POLEAS 17 cm	\$15.00
2	POLEAS 5 cm	\$6.00
6	CHUMASERAS	\$28.50
1	TRAMO DE PLANCHA	\$9.00
1	EJE DE 1 METRO	\$10.00
2	BANDAS ELÁSTICAS	\$15.00
12	PERNOS DE 1/2" X 2"	\$12.00
N/A	PERNOS PEQUEÑOS Y PLANCHA	\$10.00
N/A	TRABAJO EN TALLER DE TORNERA	\$30.00

VALOR TOTAL INCLUIDA MANO DE OBRA DEL MAESTRO	\$156.50
---	----------

*Anexo 2. Gastos derivados de la construcción de la banda transportadora*



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

## Tesis\_BRAVO\_PINZON

**2%**  
Textos sospechosos

**3%** Similitudes  
< 5% similitudes entre consultas  
**< 1%** Idioma no reconocido  
**0%** Textos potencialmente generados por IA

---

Nombre del documento: Tesis\_BRAVO\_PINZON.docx  
ID del documento: 1846c61616f03f1ca4452104e51c7596e11c  
Tamaño del documento original: 15,99 MB

Departante: LUIS ERROQUE CHUQUIMARCA JIMENEZ  
Fecha de depósito: 6/12/2023  
Tipo de carga: Interfaz  
Fecha de fin de análisis: 6/12/2023

Número de palabras: 34.100  
Número de caracteres: 218.616

---

Ubicación de las similitudes en el documento



**Fuentes principales detectadas**

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <a href="http://repositorio.upse.edu.pe/handle/documento/480038533/UPSE-TST-2018-0028.pdf">repositorio.upse.edu.pe/handle/documento/480038533/UPSE-TST-2018-0028.pdf</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras
2	 <a href="http://repositorio.upse.edu.pe/handle/documento/480038533/UPSE-TST-2018-0040.pdf">repositorio.upse.edu.pe/handle/documento/480038533/UPSE-TST-2018-0040.pdf</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras
3	 <a href="http://www.tribunadisa.com.pe/REQUISTOS-LOSALES-Y-REGULAMIENTAROS-EN-EL-CD-99012018">www.tribunadisa.com.pe/REQUISTOS-LOSALES-Y-REGULAMIENTAROS-EN-EL-CD-99012018</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras
4	 <a href="http://dipaca.esPOCH.edu.pe/handle/documento/123456789/1809/6/1/087002.pdf">dipaca.esPOCH.edu.pe/handle/documento/123456789/1809/6/1/087002.pdf</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras
5	 <a href="http://dipaca.esPOCH.edu.pe/handle/documento/1809/6/1/087002.pdf">Automatización de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la...</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras

---

**Fuentes con similitudes fortuitas**

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <a href="http://dipaca.esPOCH.edu.pe/handle/documento/1809/6/1/087002.pdf">Automatización de un proceso de clasificación y taponado de botellas</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras
2	 <a href="http://www.esaai.gov.ec/RECOMENDACIONES/Documentos/publicaciones/seguridad_documento.html">www.esaai.gov.ec</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras
3	 <a href="#">Documento de otro usuario</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras
4	 <a href="http://dipaca.esPOCH.edu.pe/handle/documento/123456789/1809/6/1/087002.pdf">Dipaca ESPOCH: implementación de un sistema automat...</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras
5	 <a href="http://repositorio.upse.edu.pe/handle/documento/480038533/UPSE-TST-2018-0028.pdf">repositorio.upse.edu.pe/handle/documento/480038533/UPSE-TST-2018-0028.pdf</a>	< 5%	<div style="width: 100%; height: 10px; background-color: #ccc; position: relative;"><div style="width: 5%; background-color: #f00; position: absolute; left: 0;"></div></div>	 Paralelos/Identitas < 176/(0) palabras

---

**Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)** Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

-  <https://www.digitey.com/revistas/what-are-proprietary-ring-topologies-in-automation-networks>
-  <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.508.12876/8990>
-  <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=307555069001>
-  [https://www.parler.com/literature/files/1801\\_BR\\_Neumadica.pdf](https://www.parler.com/literature/files/1801_BR_Neumadica.pdf)
-  <https://dipaca.esPOCH.edu.pe/handle/11401/106309>

Anexo 3. Certificado de análisis por parte de sistema anti plagio